

UNIVERSIDADE DE LISBOA

FACULDADE DE CIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFISICA E ENERGIA



## **Avaliação da ventilação natural num lar de idosos**

**Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente**

Cláudia Alexandra de Almeida Fernandes

Dissertação orientada por:

Engenheiro João Viegas

Engenheiro Fernando Marques da Silva

2016



# Agradecimentos

A presente dissertação foi desenvolvida no âmbito do projeto (GERIA) Estudo Geriátrico em Efeitos na Saúde da Qualidade do Ar Interior em Lares da 3ª Idade em Portugal (PTDC/SAL-SAP 116563/2010), projeto financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia.

Em primeiro gostaria de agradecer ao Professor Fernando Marques da Silva pela oportunidade que me deu para desenvolver este projeto e pela sua paciência.

Quero agradecer ao Professor João Viegas do Laboratório Nacional de Engenharia Civil pela disponibilidade, dedicação, pelos esclarecimentos e conselhos durante estes meses de trabalho.

Aos meus pais e irmão que sem eles não teria conseguido chegar tão longe. Obrigado pela confiança e pelo incentivo que me ajudaram a transformar-me na pessoa que sou hoje.

Por último, um grande obrigado à família que criei na FCUL pela amizade, pelos jantares e noitadas. Um obrigado especial à Vera, Gabi, Foquinha, João e o Tai, que sem eles a minha universitária teria sido mais monótona e com menos graça.



# Resumo

Esta dissertação tem como principal objetivo a criação de um modelo computacional baseado num lar de idosos existente. Este foi validado através das taxas de ventilação obtidas experimentalmente através do método de emissão constante, método de PFT's e o método do decaimento.

As simulações realizadas com o *software CONTAM* permitiram estudar as taxas de ventilação do caso de estudo, concluindo-se que o edifício não cumpria os requisitos mínimos para manter uma boa qualidade do ar interior.

Através da Norma NP 1037-parte 1 (2015) calcularam-se caudais mínimos considerando o tipo de compartimento e, posteriormente, o número de ocupantes. Baseando-se nestes valores, criaram-se aberturas de admissão e exaustão do ar dos compartimentos, melhorando assim as taxas de ventilação no caso de estudo.

Estudou-se a inversão de tiragem, verificando-se que este fenómeno acontecia aproximadamente 15% do ano típico considerado. Concluiu-se que como o edifício é térreo os efeitos eólicos eram praticamente nulos, mas que por outro lado os efeitos térmicos eram sentidos nos meses de verão.

As renovações por hora dos quartos de dormir melhoraram quando se aplicou as condições base da Norma NP 1037 (2015), apesar disso estas não são suficientes para manter a qualidade do ar interior. Assim, conclui-se que a ventilação natural por si só não é um método viável, podendo ser complementada com um sistema de ventilação mecânica.

**Palavras-chave:** software CONTAM; qualidade do ar interior; renovações por hora; ventilação natural



# Abstract

The present Masters' Thesis has its main objective on the creation of computational model based on a nursing home's measured data. The model was validated by using of ventilation rates experimentally obtained by various methods, like the constant emission, PFT's and decay methods.

Through simulations with the CONTAM software, the case study's ventilation rates were studied, concluding that the building didn't meet the minimal requirements to maintain a good interior air quality.

Using the norm NP 1037 (2015) and considering the type of compartment and, posteriorly the number of occupants, the minimal flows were calculated. Based on these values, the compartment's air admission and exhaustion openings were created, consequently improving the rooms' ventilation rates.

On another phase, the air flux inversion was studied, verifying that this phenomenon occurred approximately 15% of the typical year. Getting to the conclusion that like the building is ground floored the wind effects were practically null, but on the other hand the thermal effects were felt during the summer months.

The sleeping rooms' air changes per hour improved when the base conditions of the norm NP 1037 (2015) were applied, although these were not enough to maintain the interior air quality. Therefore, it is established that natural ventilation by itself isn't a viable approach, with the possibility of being complemented with a mechanical ventilation system.

**Key words:** CONTAM software, interior air quality, air changes per hour, natural ventilation.





# Índice

Índice de Figuras .....	xi
Índice de Tabelas .....	xiii
Acrónimos .....	xv
Simbologia e Notações .....	xvii
Capítulo 1 – Introdução .....	1
1.1. Enquadramento .....	1
1.2. Objetivos e Estrutura da dissertação .....	2
Capítulo 2 - Estado do conhecimento .....	3
Capítulo 3 – Metodologia de tratamento dos resultados experimentais .....	5
3.1. Caraterísticas do edifício .....	5
3.2. Ensaio Realizados .....	5
3.2.1. Generalidades .....	5
3.2.2. Método do gás traçador passivo: método do decaimento .....	6
3.2.3. Método do gás traçador passivo: técnica do PFT .....	7
3.2.4. Método de emissão constante .....	7
3.2.5. Método de pressurização: porta ventiladora .....	8
3.3. Parâmetros necessários à modelação computacional .....	9
3.3.1. Elementos de Ventilação Mecânica .....	9
3.3.2. Permeabilidade ao ar das portas interiores .....	9
3.3.3. Permeabilidade das portas exteriores e das janelas .....	11
3.3.4. Dados do vento .....	12
3.3.5. Coeficientes de pressão .....	16
Capítulo 4 – Metodologia de Simulação .....	19
4.1. Validação do modelo computacional .....	19
4.2. Influência dos Equipamentos Mecânicos .....	20
4.3. Comportamento do Edifício em Condições Normais .....	21
4.4. Comportamento do Edifício segundo a Norma 1037 (2015) .....	21
4.5. Outras Simulações .....	24
Capítulo 5 – Resultados e Discussão .....	25
5.1. Validação do modelo .....	25
5.2. Influência dos equipamentos mecânicos .....	25
5.3. Comportamento anual da taxa de ventilação no edifício .....	27
5.4. Aplicabilidade da Norma 1037 (2015) .....	30

5.5. Inversão de tiragem e excesso de ventilação.....	31
Capítulo 6 - Síntese e conclusões.....	37
Referências Bibliográficas .....	39
Anexos.....	41
Anexo 1: Renovações por hora obtidas experimentalmente e pelas simulações: método de emissão constante e método do decaimento.....	41
Anexo 2: Renovações por hora obtidas experimentalmente e pelas simulações: método do PFT ....	42
Anexo 3: Resumo das simulações realizadas .....	43
Anexo 4: Resultados dos Quarto-Típicos.....	46
Anexo 5: Curvas características dos quartos-típicos das taxas de ventilação por percentagem de tempo de ocorrência .....	49

# Índice de Figuras

Figura 1: Relação entre a concentração de poluente e a taxa de ventilação[5] .....	3
Figura 2: Planta do edifício com numeração dos quartos de dormir .....	5
Figura 3: Medidores do gás traçador (esquerda) e o ventilador mecânico (direita) .....	6
Figura 4: Cápsula emissora e recetora utilizadas na técnica do PFT.....	7
Figura 5: Montagem da porta ventiladora num dos locais de estudo .....	8
Figura 6: Excerto da planta do L12 onde foi realizado o ensaio da porta ventiladora (A - Porta Ventiladora; B-D - Quarto 1-3; E - Porta da IS) .....	9
Figura 7: Permeabilidade da porta interior do quarto 3.....	10
Figura 8: Exemplo das janelas de correr do quarto 3 .....	11
Figura 9: Simbologia das janelas da capela do L24 .....	11
Figura 10: Fotografia do exterior da sala de estar (Living Room 1) .....	12
Figura 11: Ilustração do aumento da velocidade do vento devido à orografia [22] .....	13
Figura 12: Ilustração simplificada do sinal do $C_p$ (esquerda: vista de perfil e direita: vista de cima) ...	16
Figura 13: Ilustração simbólica do L24 dividido em 17 zonas.....	16
Figura 14: Perfil de $C_p$ para as três zonas da fachada 1 .....	17
Figura 15: Exemplo de uma janela aberta, mas com as persianas semifechadas .....	19
Figura 16: Exemplo de ventilação conjunta .....	21
Figura 17: Comportamento dos diferentes tipos de abertura de admissão de ar .....	22
Figura 18: Área da abertura para admissão de ar .....	23
Figura 19: Exemplo de colocação de sistema de exaustão de ar numa IS.....	23
Figura 20: Área de abertura para exaustão de ar .....	23
Figura 21: Resultados das simulações 1,2 e 3 para o quarto 2 .....	25
Figura 22: Janelas da lavandaria abertas .....	26
Figura 23: Porta principal do edifício aberta.....	26
Figura 24: Resultados obtidos nas simulações 4 a 10 para o quarto 19 .....	26
Figura 25: Comportamento das taxas de ventilação ao longo do ano .....	30
Figura 26: Resultados obtidos através das simulações 12, 13, 14 e 15 .....	30
Figura 27: Média anual de RPH para os quartos-típicos tendo em conta a Norma NP 1037.....	31
Figura 28: Simbologia da circulação dos caudais de ar nos compartimentos .....	31
Figura 29: Curva característica do comportamento da taxa de ventilação por percentagem de tempo de ocorrência para o quarto 5 .....	32
Figura 30: Curva característica do comportamento da taxa de ventilação por percentagem de tempo de ocorrência para o quarto de apoio (simulação 14).....	33

Figura 31: Representa o eventual excesso de ventilação relativamente às condições da Norma NP 1037 .....	33
Figura 32: Representa a percentagem de RPH de projeto que cada simulação atinge .....	34
Figura 33: Excesso de ventilação relativo às simulações 16 e 17 .....	34
Figura 34: Percentagem de ocorrência de inversão de tiragem nos quartos-típicos .....	35
Figura 35: Fenómeno de inversão de tiragem ao longo do ano nos quartos típicos para a simulação 13 .....	35
Figura 36: Curva característica do comportamento da taxa de ventilação por percentagem de tempo de ocorrência para o quarto 10 .....	49
Figura 37: Curva característica do comportamento da taxa de ventilação por percentagem de tempo de ocorrência para o quarto 14 .....	49
Figura 38: Curva característica do comportamento da taxa de ventilação por percentagem de tempo de ocorrência para o quarto 17 .....	50
Figura 39: Curva característica do comportamento da taxa de ventilação por percentagem de tempo de ocorrência para o quarto 21 .....	50
Figura 40: Curva característica do comportamento da taxa de ventilação por percentagem de tempo de ocorrência para o quarto de apoio .....	51

# Índice de Tabelas

Tabela 1: Descrição dos ensaios realizados com a porta ventiladora.....	8
Tabela 2: Caudais dos equipamentos mecânicos presentes no L24 .....	9
Tabela 3: Apresentação das dimensões das folgas dos L12 .....	10
Tabela 4: Valores finais obtidos experimentalmente .....	12
Tabela 5: Parâmetros utilizados para a correção de velocidade do vento no setor N e NO .....	14
Tabela 6: Parâmetros utilizados para a correção de velocidade do vento no setor E, SE e S.....	15
Tabela 7: Descrição das simulações 1,2 e 3 .....	19
Tabela 8: Descrição das simulações 4 a 10 .....	20
Tabela 9: Descrição das condições da simulação 11.....	21
Tabela 10: Condições de escolha dos caudais-tipo segundo a Norma NP 1037 .....	22
Tabela 11: Descrição das simulações 12 à 15 .....	24
Tabela 12: Condições para o caudal- tipo das simulações 15 e 16.....	24
Tabela 13: Resultados obtidos através das simulações 4 a 10.....	27
Tabela 14: Valores de renovações médias mensais, velocidade média mensal e direção média mensal .....	27
Tabela 15: Valores de RPH por estação do ano .....	28
Tabela 16: Valor de RPH por grupo de quartos .....	29
Tabela 17: Quartos-típicos considerados.....	29
Tabela 18: RPH médias anuais obtidas através dos caudais do compartimento .....	32
Tabela 19: Valores de RPH dos quartos-típicos para o caso base.....	46
Tabela 20: Valores de RPH dos quartos-típicos para a simulação 12. ....	46
Tabela 21: Valores de RPH dos quartos-típicos para a simulação 13. ....	47
Tabela 22:Valores de RPH dos quartos-típicos para a simulação 14. ....	47
Tabela 23: Valores de RPH dos quartos-típicos para a simulação 15. ....	48



## Acrónimos

CLA	Camada limite atmosférica
E	Este
FCT – UNL	Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa
IPMA	Instituto Português do Mar e da Atmosfera
IS	Instalação sanitária
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
N	Norte
NE	Nordeste
NO	Noroeste
O	Oeste
QA	Quarto de apoio
QAI	Qualidade do ar interior
RPH	Renovações por hora
S	Sul
SE	Sudeste
SO	Sudoeste





## Simbologia e Notações

$z_0$	Altura da rugosidade local [m]
$\overline{h_r}$	Altura média da camada de cobertura urbana [m]
$A_f$	Área da folga [m <sup>2</sup> ]
$\dot{V}$	Caudal de ventilação [m <sup>3</sup> /s]
$Q$	Caudal volúmico de ar [m <sup>3</sup> /s]
$\alpha$	Coefficiente da lei de potência
$C$	Coefficiente de escoamento [m <sup>3</sup> /s]
$c_0$	Coefficiente de orografia
$C_p$	Coefficiente de pressão
$C_d$	Coefficiente de vazão
$c$	Concentração do gás traçador [ppm]
$k$	Constante de Von Kármán ( $k = 0.4$ )
$d$	Cota a partir da qual se fazem sentir os efeitos de atrito da superfície [m]
$z$	Cota a que se faz sentir a velocidade do vento [m]
$H$	Diferença de altura entre dois pontos [m]
$\Delta P$	Diferença de pressão [Pa]
$\Delta P_0$	Diferença de pressão máxima, a partir do qual o fluxo é limitado [Pa]
$L_u$	Distância entre dois pontos [m]
$X$	Distância entre o anemómetro e o edifício de estudo [m]
$\delta$	Espessura da camada limite atmosférica [m]
$n$	Expoente de escoamento
$\Phi$	Inclinação do terreno
$p_\infty$	Pressão estática de referência [Pa]
$p_i$	Pressão local [Pa]
$\lambda_f$	Razão entre a área média das fachadas e a área total em planta
$G$	Taxa de geração do gás traçador [m <sup>3</sup> /s]
$t$	Tempo [h] [min] [s]
$Q_0$	Valor máximo de caudal que atravessa a abertura [m <sup>3</sup> /s]
$u_*$	Velocidade de atrito [m/s]
$U$	Velocidade do vento [m/s]
$V$	Volume do compartimento [m <sup>3</sup> ]



# Capítulo 1 – Introdução

## 1.1. Enquadramento

A qualidade do ar interior (QAI) com a evolução tecnológica e comportamental tem-se tornado uma área de investigação e preocupação para os profissionais de diferentes áreas científicas [1]. Relativamente à sua política considera-se da maior importância a existência de caudais mínimos de ar novo por espaço interior, tendo como principais objetivos proteger a saúde e o bem-estar dos ocupantes dos edifícios. De forma a garantir as taxas mínimas de ar novo, deve dar-se, sempre que possível, prioridade à ventilação natural em relação à ventilação mecânica, uma vez que otimiza os recursos naturais disponíveis (como o vento), aumentando a eficiência energética e reduzindo os custos [2].

Após diversos estudos focados na QAI, diagnosticou-se o “síndrome do edifício doente” em que edifícios com baixos valores de caudais de ar novo provocam efeitos negativos na população que frequenta esse espaço. As principais consequências que se observam são [1]:

- Desconforto, por exemplo a sensação de “abafado” ou a existência de odores;
- Efeitos na saúde, como irritação nos olhos ou transmissão de doenças por via aérea, entre outros, que podem demorar décadas a aparecer.

Complementando os efeitos anteriores, foi provado que existe uma relação direta entre a QAI e a produtividade dos indivíduos [1].

Os “edifícios doentes” são, na sua maioria, edifícios que têm um sistema de ventilação debilitado e nos quais existem maus hábitos de ventilação que não permitem a entrada de ar novo como, por exemplo, a má utilização da abertura de janelas. Além destes fatores, existem várias fontes de poluição como o edifício em si, os ocupantes, as suas atividades diárias e os equipamentos mecânicos e elétricos, entre outros [1].

Os efeitos referidos anteriormente, têm um maior impacto em adultos com uma faixa etária mais avançada (idosos) uma vez que têm um sistema imunitário mais debilitado, isto juntando ao fato que passam a maioria dos dias em espaços interiores.

Portugal, de acordo com a base de dados Portugal Contemporâneo - Pordata, está em quinto lugar no índice de envelhecimento da Europa, isto é, o número de idosos (idades superiores aos 65 anos) por cada 100 jovens. Em 2014 a população com idade igual ou superior a 60 anos constituía cerca de 26% da população total de Portugal, quase o dobro quando comparado com 1971 [3].

Com o objetivo de clarificar o papel desempenhado pela QAI e pela ventilação no bem-estar e qualidade de vida dos residentes em lares de 3ª idade, foi criado o Projeto GERIA<sup>1</sup> que foi dividido em duas fases[4]:

Fase I – que decorreu em 64 lares da região de Lisboa e do Porto, tendo-se realizado questionários de saúde e qualidade de vida, caracterizado os edifícios de estudo e feito o levantamento das estratégias de ventilação e práticas dos utilizadores, assim como algumas medições pontuais de dióxido de carbono, temperatura do ar e humidade relativa do ar.

Fase II – na qual se reduziu o grupo de estudo para apenas 20 lares, se fez uma avaliação do QAI através da monitorização de agentes químicos e microbiológicos e da avaliação do conforto térmico e se realizaram ensaios de permeabilidade ao ar da envolvente e monitorização de caudais de ventilação.

Em ambas as fases referidas foram analisados por dois antigos estudantes da Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa (FCT-UNL) – César Sobreira (Fase I) [5] e Fábio Cerqueira (Fase II) [6] – os dados recolhidos.

---

<sup>1</sup> Estudo Geriátrico dos Efeitos na Saúde da Qualidade do Ar Interior em Lares de 3ª Idade de Portugal

Esta dissertação foi desenvolvida com o objetivo de continuar o trabalho realizado até à data e criar um modelo computacional que simule a ventilação de um lar de 3ª idade selecionado e estudar o desempenho da ventilação natural no edifício em estudo, em conjunto com o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC).

## 1.2. Objetivos e Estrutura da dissertação

A presente dissertação tem como objetivo principal a criação de um modelo computacional em *software* *CONTAM* [7] de um lar de idosos. Este será validado através das taxas de ventilação que foram recolhidas e analisadas em trabalhos anteriores com ensaios experimentais como o método de emissão constante, método do decaimento e a técnica dos PFT's.

O modelo computacional permitirá realizar uma análise das taxas de ventilação. Pretende-se simular um ano típico e estudar o seu comportamento, assim como estudar a aplicabilidade da Norma NP 1037 (2015). Esta dissertação focar-se-á principalmente nos quartos de dormir uma vez que é nestes espaços que os utentes do lar passam a maior parte do seu tempo.

Ao longo desta dissertação pretende-se responder às seguintes questões:

- Será possível criar um modelo computacional que reflita as características reais do edifício de estudo?
- O caso de estudo nas condições reais possui um bom sistema de ventilação?
- Seria possível aplicar os requisitos presentes na Norma NP 1037 (2015)?
- As condições presentes na Norma NP 1037 (2015) têm uma grande influência nas taxas de ventilação?
- A utilização exclusiva de ventilação natural é suficiente para garantir a qualidade do ar interior?

De modo a simplificar esta dissertação dividiu-se em 6 capítulos:

- O presente capítulo (Capítulo 1) possui uma introdução e enquadramento da importância da ventilação na qualidade do ar interior principalmente em lares de idosos e os objetivos da dissertação;
- O Capítulo 2 é dedicado ao estado do conhecimento, onde se fornece uma breve introdução ao *software* que irá ser utilizado, demonstrando assim a sua eficácia neste tipo de projetos;
- No Capítulo 3 serão descritos os ensaios realizados no caso de estudo e quais os parâmetros retirados destes que irão ser necessários à criação do modelo computacional;
- O Capítulo 4 apresentará a metodologia utilizada para obter os resultados pretendidos do programa, estarão descritos os critérios e as características das simulações realizadas;
- No Capítulo 5 ser apresentados e analisados os resultados obtidos das simulações apresentadas no Capítulo 4;
- O Capítulo 6 é o último capítulo, sendo neste que estarão as conclusões retiradas ao longo do trabalho realizado, tendo por alvo responder às questões propostas inicialmente.

## Capítulo 2 - Estado do conhecimento

A ventilação nas habitações desejavelmente deve ser constante ao longo do tempo e independente das condições exteriores [8]. Esta tem como objetivo garantir a qualidade do ar interior, isto é, auxiliar na eliminação de poluentes presentes no interior dos edifícios, como CO<sub>2</sub>. Por outro lado deve contribuir para assegurar o conforto térmico dos utilizadores dos espaços interiores [5].

A Norma NP 1037 (2015) define os sistemas de ventilação natural como “o conjunto de meios que permitem o escoamento do ar através do edifício e da sua envolvente promovido pelas ações naturais (térmica e vento)” [8]. Infelizmente, este tipo de sistema, em Portugal, possui grandes dificuldades para atingir o seu máximo potencial devido aos fatores climáticos[9].

A taxa de ventilação representa o caudal volumétrico de ar novo, podendo ser expresso em  $L/s$  ou  $m^3/h$ . Usualmente, a taxa de ventilação é também expressa em renovações por hora (RPH) do compartimento.[1][9].

As renovações por hora ou renovações horárias representam o número de vezes que o ar de um espaço é renovado em cada hora, isto é, uma RPH significa que no período de uma hora o volume de ar novo que entrou no compartimento é igual ao volume total do mesmo[9].

Com o objetivo de manter a qualidade do ar é necessário que o edifício tenha taxas de ventilação mínimas que consigam eliminar ou diminuir até níveis admissíveis os poluentes no interior. A Figura 1 demonstra de forma simplificada a relação entre a concentração de poluente e a taxa de ventilação (admitindo que o poluente está uniformemente diluído no espaço confinado) permitindo, a partir de uma dada concentração máxima de referência para um poluente conhecer a taxa de ventilação mínima necessária para eliminar o mesmo da divisão [5].

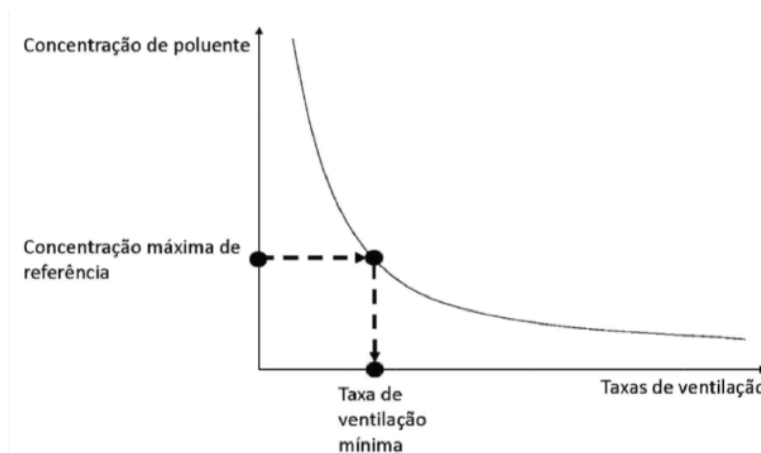


Figura 1: Relação entre a concentração de poluente e a taxa de ventilação[5]

Com o objetivo de estudar a QAI, realizaram-se estudos utilizando CO<sub>2</sub> como indicador [5][6] e outros onde se demonstrava a importância de um ambiente interior limpo na saúde dos utilizadores das habitações [10] [11].

O César Sobreira e o Fábio Cerqueira analisaram a qualidade do ar interior em 33 lares de idosos utilizando CO<sub>2</sub> como indicador. Recorreram aos métodos de emissão constante e pelo método do decaimento para calcular as taxas de ventilação nos diferentes compartimentos. Assim, concluíram que 70% dos quartos estudados atingiam concentrações de CO<sub>2</sub> superiores ao limite máximo de referência (1000 ppm) durante o período noturno, ou seja, enquanto o utente se encontrava a dormir [5][6].

O Instituto Nacional de Saúde entre 2003 e 2005 realizou estudos de avaliação da QAI em cerca de 190 de edifícios de escritórios e serviços na zona de Lisboa e Vale do Tejo. Cada local foi

devidamente caracterizado o local de trabalho, a ocupação e os parâmetros físicos, químicos e biológicos. O estudo concluiu que os locais com ventilação apenas de ar novo apresentavam menos fungos, bactérias, compostos voláteis e partículas suspensas do que aqueles que utilizavam ventilação por ar novo e recirculado ou apenas por ar recirculado [11].

Utilizando uma metodologia semelhante ao Instituto Nacional de Saúde, em Taiwan realizou-se um estudo em edifícios de cuidados continuados em 2013. As conclusões gerais obtidas foram idênticas entre os estudos. Apesar deste último atingir taxas de ventilação inferiores, dado que por motivos de idade e/ou saúde, alguns dos utentes não compreendiam a importância da renovação do ar interior, não possuindo assim hábitos saudáveis de ventilação, como a abertura de janelas [10].

A Universidade de Aveiro realizou um estudo sobre a qualidade do ar interior nas habitações portuguesas [12], onde chegou à conclusão que cerca de 60% de um conjunto de 557 habitações não atingia os valores mínimos em todos os indicadores de qualidade do ar interior. O maior problema encontrado nas habitações-alvo foi a reduzida taxa de ventilação medida, que poderiam ser otimizadas com pequenas medidas/estratégias pessoais e estruturais.

Hoje em dia já não é obrigatório a deslocação aos locais de estudo para medições de taxas de ventilação, dado que existem *softwares* de modelação computacional que permitem simular o comportamento do ar no interior do edifício[13]. O *EnergyPlus* [14] e o *CONTAM* [7] são exemplos de *softwares* informáticos que permitem simular e obter valores de taxas de ventilação, introduzindo apenas algumas características físicas de elementos exteriores e interiores dos edifícios.

O *EnergyPlus* é uma ferramenta que apresenta grande rigor na modelação da geometria dos edifícios e na instalação de sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado. Este modela tendo por base balanços de energia detalhados em múltiplas zonas térmicas. O *software* já foi utilizado para diversos estudos, como por exemplo o cálculo das necessidades de energia para arrefecimento quando se utiliza ventilação natural [15] ou o cálculo da energia perdida por infiltrações num edifício [13].

O *CONTAM* é um *software* que permite simular os fluxos de ar no interior do edifício, concentrações de poluentes (dispersão de poluentes transportados pelo ar) e a exposição dos ocupantes aos mesmo com o intuito de se fazer uma avaliação de risco. Esta ferramenta foi criada pelo NIST (*U.S. National Institute of Standards and Technology*) podendo ser utilizado em regime transiente ou permanente.

Assim, entre os dois *softwares* disponíveis optou-se pelo *CONTAM* como instrumento de trabalho, por ser uma ferramenta simples de manusear, ser de fácil acesso e por já ter sido utilizado em trabalhos semelhantes, como por exemplo:

- Verificação do comportamento de um sistema de ventilação conjunta [16];
- Estudo da QAI em apartamentos na Grécia [17];
- Avaliação do desempenho da ventilação em creches em Portugal [18].

Os dados de *input* no *software* escolhido, de forma geral, são a planta do edifício, a permeabilidade dos vãos interiores e exteriores, as condições atmosféricas exteriores (temperatura e velocidade /direção do vento) e os perfis de coeficientes de pressão.

## Capítulo 3 – Metodologia de tratamento dos resultados experimentais

### 3.1. Caraterísticas do edifício

O edifício alvo desta dissertação localiza-se em Marvila (Lisboa), possui um piso com cerca de 1400 m<sup>2</sup>, constituído por 23 quartos (22 ocupados e um quarto de apoio) que serão o foco principal do estudo. A planta do lar de idosos em estudo está representada na Figura 2, este irá ser referido nos próximos capítulos como L24, sendo a nomenclatura concordante com a utilizada pelo Projeto GERIA.

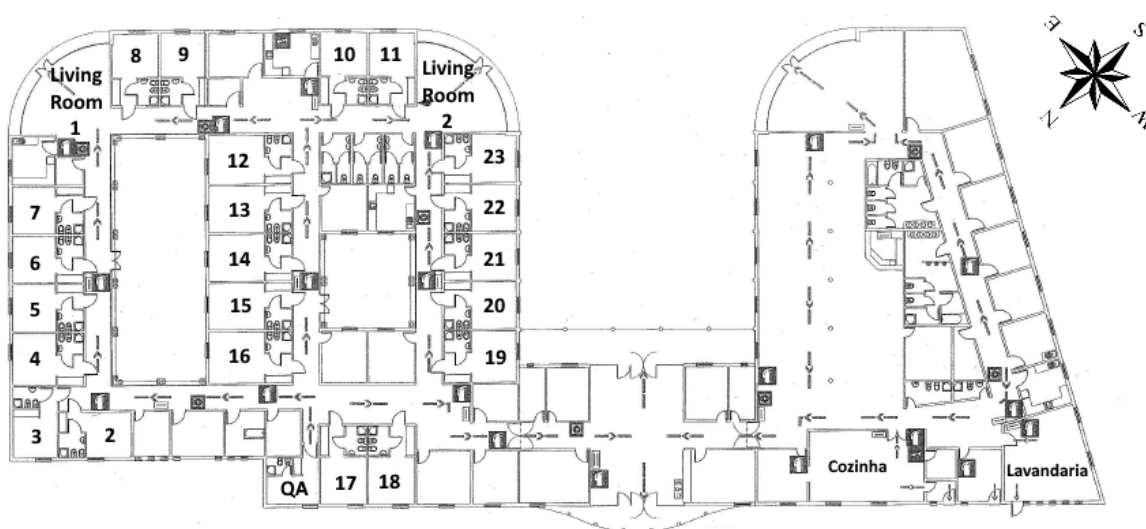


Figura 2: Planta do edifício com numeração dos quartos de dormir

### 3.2. Ensaios Realizados

#### 3.2.1. Generalidades

Para se proceder à modelação da ventilação neste edifício foi necessário recolher um conjunto de dados através de medições e ensaios, nomeadamente:

- Foi realizada a medição direta de taxas de ventilação através da utilização de métodos de gases traçadores.
- Foi realizada avaliação de permeabilidade da envolvente experimentalmente.
- Foi estimada a permeabilidade ao ar das portas interiores, quando fechadas.
- Foi registada a informação relativa aos caudais de exaustão dos mecanismos de ventilação.
- Foi estimado o efeito dos agentes naturais para a ventilação, nomeadamente através da recolha de dados meteorológicos e da estimativa dos coeficientes de pressão na envolvente do edifício.
- Foi ainda utilizada a estimativa de taxas de ventilação, realizada em trabalhos precedentes[5][6], através da emissão de dióxido de carbono devido ao metabolismo humano.

Estes aspetos metodológicos serão detalhados nas próximas subsecções.

### 3.2.2. Método do gás traçador passivo: método do decaimento

O método do gás traçador tem como propósito avaliar a taxa de renovação de um compartimento e é um dos procedimentos mais comuns, uma vez que não requer a utilização de equipamento muito sofisticado. Este ensaio baseia-se na lei de conservação de massa de ar e do gás traçador introduzido no local de estudo, representado pela equação 3.1 [1]:

$$V \frac{dc}{dt} = G + Q(c_e - c_i) \quad 3.1$$

onde,  $V$  representa o volume do compartimento em estudo [ $m^3$ ];  $Q$  o caudal volúmico de ar [ $m^3/s$ ],  $c$  a concentração volúmica do gás traçador [ $ppm$ ], sendo que as letras  $e$  e  $i$  identificam, respetivamente, as concentrações exteriores e interiores do compartimento num determinado tempo,  $t$  [ $min$ ]; e  $G$  é a taxa de geração do gás traçador [ $m^3/s$ ].

O ensaio inicia-se com a introdução de um gás traçador, neste caso  $CO_2$ , no espaço de estudo até este estar distribuído uniformemente pelo compartimento, para facilitar a mistura de gases utiliza-se, usualmente, um ventilador mecânico (Figura 3) [1].



Figura 3: Medidores do gás traçador (esquerda) e o ventilador mecânico (direita)

Após o local de estudo estar viciado com o gás traçador, desliga-se a fonte de  $CO_2$  e admite-se que não existem mais fontes a gerar gás traçador ( $G = 0$ ), obtendo-se assim a equação 3.2 [1].

$$V \frac{dc(t)}{dt} = -Qc_0 \quad 3.2$$

Sendo que,  $c(t)$  é a concentração de  $CO_2$  ao longo do tempo [ $ppm$ ] e  $c_0$  representa a concentração no momento em que se inicia a fase de decaimento da concentração [ $ppm$ ].

Reorganizando e primitivando a equação anterior, pode estimar-se o número de as renovações por hora (RPH), como apresentado na equação 3.3:

$$RPH = -\frac{Q}{V}t = \ln\left(\frac{c(t)}{c_0}\right) \quad 3.3$$

Após o tratamento de dados apresentado, obtém-se os valores de RPH que estão apresentados no Anexo 1 que irão ser utilizados para a validação do modelo computacional apresentado no Capítulo 4 – Metodologia de Simulação.



### 3.2.3. Método do gás traçador passivo: técnica do PFT

A técnica dos PFT é a única que consegue medir a taxa de renovação horária durante um longo período de tempo, que no caso de estudo foi cerca de 2 semanas [19]. Este processo consiste em introduzir dois tipos de cápsulas com pequenas dimensões. As cápsulas emissoras emitem perfluorocarbonos (PFT) a uma taxa constante e, posteriormente, as cápsulas absorção (recetoras) (Figura 4) contendo carbono ativo registam a concentração de PFT durante o período experimental. O objetivo deste método é determinar a “idade média do ar” no compartimento que é proporcional à concentração do gás traçador no local de estudo, o valor inverso de RPH [20].

Este procedimento possui vantagens em relação a outros métodos, uma vez que consegue estudar o edifício independentemente do tipo de ventilação – mecânica, natural ou mista – e do tipo de utilização - seja um edifício de habitação ou de serviço. Por outro lado, caso o gás traçador não esteja espalhado homogeneamente pelos compartimentos de estudo os valores de RPH poderão ser sobrestimados [20].

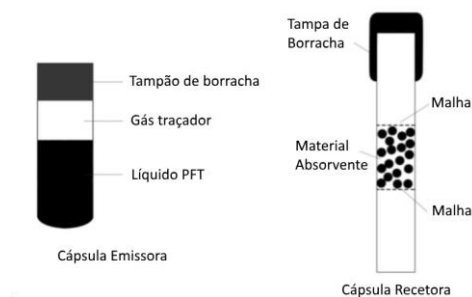


Figura 4: Cápsula emissora e recetora utilizadas na técnica do PFT

### 3.2.4. Método de emissão constante

Este método tem como objetivo determinar as taxas de ventilação na fase de crescimento da concentração de CO<sub>2</sub> no compartimento de estudo, neste caso os quartos de dormir. O ensaio inicia-se quando os utentes dos lares entram no quarto para dormir, assumindo-se assim que têm uma taxa de produção de CO<sub>2</sub> constante ( $G$ ), e termina quando a concentração de CO<sub>2</sub> atinge um patamar quase estacionário [19]. Assim, sendo, a produção teórica de CO<sub>2</sub> nesta fase é caracterizada através da equação 3.4. Este ensaio pode ser afetado pela atividade dos utentes do quarto, o que torna alguns dos resultados experimentais inutilizáveis.

$$\begin{aligned}
 C &= \frac{\dot{V} * c_e + G}{\dot{V} + G} * \left[ 1 - e^{-\frac{\dot{V} + G}{V} * t} \right] + c_0 * e^{-\frac{\dot{V} + G}{V} * t} \Leftrightarrow \\
 \Leftrightarrow C &= \frac{\dot{V} * c_e + G}{\dot{V} + G} * \left[ c_0 - \frac{\dot{V} * c_e + G}{\dot{V} + G} \right] * e^{-\frac{\dot{V} + G}{V} * t}
 \end{aligned}
 \tag{3.4}$$

O tratamento de dados deste ensaio foi realizado no âmbito de outro trabalho realizado [6] que calculou a concentração teórica de CO<sub>2</sub> presente no compartimento, utilizando como variáveis o caudal de ventilação ( $\dot{V}$ ) e o valor de  $G$ , ajustando posteriormente os valores teóricos aos experimentais através do método dos mínimos quadrados, encontrando assim o valor de caudal de ventilação e, conseqüentemente, as RPH do quarto no período de medição.

Na validação do modelo computacional para o lar em questão, utilizaram-se apenas os casos que passaram o teste estatístico utilizado [6].

### 3.2.5. Método de pressurização: porta ventiladora

O método de pressurização utiliza uma porta ventiladora com uma ventoinha, como ilustrado na Figura 5, que cria diferenças de pressão (ou depressão) entre o interior e o exterior do compartimento de estudo, deste modo consegue-se medir a permeabilidade, por exemplo, de janelas, portas interiores e exteriores. Este procedimento requer o uso de equipamento adequado e um *software* específico de forma a registar os valores do ensaio.



Figura 5: Montagem da porta ventiladora num dos locais de estudo

O ensaio com este tipo de equipamento requer técnicos especializados para reproduzir o procedimento necessário à aquisição de dados. Este método tem algumas condições para que os erros de medição sejam minimizados, isto é, o ensaio deve ser realizado em períodos com velocidades de vento reduzidas, os compartimentos devem estar bem isolados e caso seja necessário utilizar mais do que uma porta ventiladora (caso de compartimentos de grandes dimensões). Na Tabela 1 estão apresentados os locais e as características dos ensaios realizados, tanto em pressão como depressão em relação ao ambiente exterior.

Tabela 1: Descrição dos ensaios realizados com a porta ventiladora

Local	Ensaio - características
Quarto 3	Sem vedações
	Com a grelha da instalação sanitária (IS) vedada
	Grelha IS e caixa de estores vedadas
	Com grelha IS, caixa de estore e janela vedados
Sala de Reuniões	Sem vedações
	Caixa de estore vedada
	Com janelas e caixa de estore vedado
Capela	Sem vedações
	Com janelas vedadas
Sala de Estar	Sem vedações
	Com a porta vedada

### 3.3. Parâmetros necessários à modelação computacional

#### 3.3.1. Elementos de Ventilação Mecânica

O L24 possui elementos mecânicos na cozinha e na lavandaria que auxiliam nas respetivas funções de cada local. Estes equipamentos afetam a ventilação nos locais onde estão presentes e nos locais adjacentes. Por estas razões, nos dias em que se efetuaram os ensaios experimentais referidos anteriormente realizou-se um levantamento dos caudais de cada elemento mecânico, apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Caudais dos equipamentos mecânicos presentes no L24

Local	Caudal dos equipamentos mecânicos [m³/s]	
Lavandaria - Boca de Exaustão	1	0,130
	2	0,069
	3	0,069
Lavandaria - Secadores	Pequeno	0,327
	Grande	8,782
Cozinha-Hote		0,239

#### 3.3.2. Permeabilidade ao ar das portas interiores

A permeabilidade das portas interiores foi calculada com o auxílio de dados de experimentais recolhidos noutro lar de Lisboa pertencente ao Projeto Geria – L12 – dado que o ensaio de pressurização no L24 só se realizou com o intuito de caracterizar a permeabilidade das janelas dos quartos de dormir e da porta/fixos da sala de estar (identificado como *Living Room 1* na Figura 2). No entanto, no L24 fez-se o levantamento de todas as folgas de portas interiores do lar em estudo.

O tratamento de dados iniciou-se pela análise dos resultados do ensaio de pressurização do L12. A permeabilidade das portas dos quartos 1, 2 e 3 (identificados na Figura 6) foram medidas, tendo-se mantido aberta a porta da instalação sanitária. Este ensaio revelou que o conjunto das portas interiores teria um coeficiente de escoamento ( $C$ ) de 0.0236 m³/s e um expoente de escoamento ( $n$ ) de 0.5948. Posteriormente, considerou-se que o caudal total que passava pelas portas dos quartos seria dado pela equação 3.5.

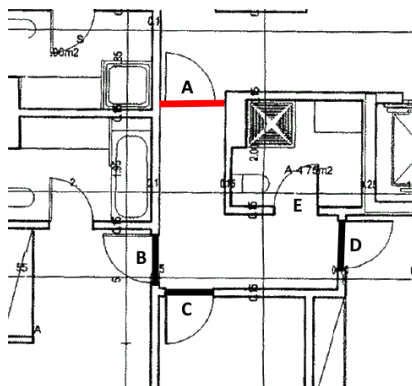


Figura 6: Excerto da planta do L12 onde foi realizado o ensaio da porta ventiladora (A - Porta Ventiladora; B-D - Quarto 1-3; E - Porta da IS)

$$Q_{total12} = C \times \Delta P^n \quad 3.5$$

De forma a conseguir obter os coeficientes necessários para o L24, utilizou-se o levantamento das folgas realizado no L12, sendo que os valores registados estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Apresentação das dimensões das folgas dos L12

Quarto 1 – Folga 1	0.001 m
Quarto 2 – Folga 2	0.003 m
Quarto 3 – Folga 3	0.001 m

O caudal que passa através do orifício na zona inferior da porta interior é caracterizado através da equação 3.6, onde  $C_d$  é o coeficiente de vazão e toma o valor de 0.61 em escoamentos turbulentos[16].

$$Q_{folga_x} = A_f \times C_d \sqrt{\frac{2}{\rho_{ar}}} \times \Delta P^{0.5} \quad 3.6$$

Onde,  $\Delta P$  representa a diferença de pressão;  $A_f$  a área da folga e  $\rho_{ar}$  simboliza a densidade do ar.

Assim sendo, o caudal da junta móvel superior e lateral é obtido subtraindo ao caudal total do L12 (valor obtido experimentalmente) o somatório do caudal correspondente às folgas das três portas em questão. De forma, a facilitar os cálculos colocou-se o valor obtido por unidade de área, como apresentado na equação 3.7.

$$Q_{junta_{L12}} = \frac{[Q_{total_{L12}} - \sum Q_{folga_{L12}}]}{Perimetro_{3portas}} \quad 3.7$$

Por fim, calculou-se o valor de caudal total, tendo em conta o perímetro de cada porta do L24 e a respetiva folga como apresentado na equação 3.8.

$$Q_{total_{24}} = Q_{junta_{L12}} \times Perimetro_{Porta_{L24}} + Q_{folga_{24}} \quad 3.8$$

Os caudais calculados são apresentados na forma de gráfico (Figura 7), a partir dos quais são traçadas linhas de tendência potenciais, com a mesma apresentação da equação 3.5. Assim, com base nestes resultados é obtido os coeficientes de escoamento pretendidos.

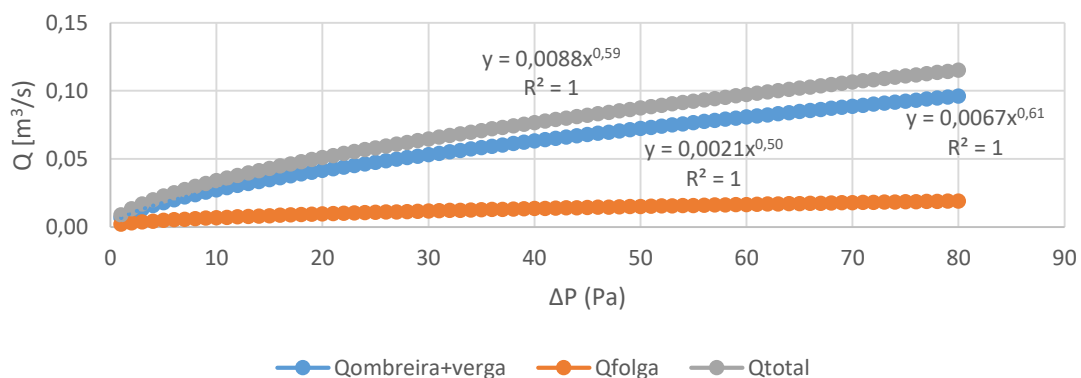


Figura 7: Permeabilidade da porta interior do quarto 3

Este procedimento foi aplicado em todas as portas interiores, o que permitiu obter o valor de permeabilidade de cada porta do edifício de estudo – L24.

### 3.3.3. Permeabilidade das portas exteriores e das janelas

A permeabilidade das portas exteriores e das janelas é calculada a partir dos dados obtidos pelo método da porta ventiladora, que fornece o valor dos parâmetros de escoamento ( $C$  e  $n$ ) para cada ensaio realizado (Tabela 1). Dado que não foi possível realizar ensaios em todos os compartimentos, utilizaram-se os dados dos locais experimentais - sala de reuniões, quarto 3, sala de estar e capela para se extrapolar os restantes elementos do edifício.

Os valores obtidos foram padronizados para um intervalo de diferenças de pressão entre os [15,70] Pa, permitindo relacionar os ensaios e compará-los entre si.

Os coeficientes de escoamento do quarto 3 e a sala de reuniões nos ensaios de pressão e depressão foram semelhantes, o que seria de esperar uma vez que as janelas são iguais entre compartimentos (Figura 8) e as características das janelas de correr não dependem do sentido da pressurização. Tendo em conta os resultados obtidos, considerou-se a permeabilidade do conjunto “janela de correr e caixa de estore” seria a média dos ensaios em pressão e depressão dos dois compartimentos.



Figura 8: Exemplo das janelas de correr do quarto 3

O caudal de escoamento da IS foi obtido através da diferença entre o ensaio inicial (sem vedações de fita cola nas entradas de ar) e o ensaio onde se vedou a grelha de IS, obtendo-se diretamente a permeabilidade deste elemento.

Na capela, apesar dos valores experimentais não estarem dentro do intervalo de valores do expoente de escoamento ( $0.5 < n < 1$ ), consideraram-se ambos corretos dado o tipo de janela (Figura 9). A abertura é para o interior do compartimento, fazendo com que em depressão o valor do expoente  $n$  é muito baixo e em pressão é muito alto. Independente deste fato, podem-se utilizar ambos os expoentes  $n$  uma vez que estes só têm maior influência em diferenças de pressão maiores, ou seja velocidades do vento muito superiores à verificadas para aquela zona.



Figura 9: Simbologia das janelas da capela do L24

Na sala de estar os ensaios permitiram calcular as permeabilidades da porta e dos vãos envidraçados apresentados na Figura 10. Estes elementos caracterizam-se por ter uma permeabilidade em pressão e depressão semelhante, sendo que por esta razão utilizou-se a média dos dois ensaios.



Figura 10: Fotografia do exterior da sala de estar (Living Room 1)

Os valores finais de permeabilidade referidas anteriormente estão apresentados na Tabela 4, posteriormente foram definidas por unidade de área e/ou de comprimento e extrapolaram-se os valores para os restantes elementos – janelas, portas exteriores e fixos.

Tabela 4: Valores finais obtidos experimentalmente

Local do Ensaio	Elemento	Características	
		C [m <sup>3</sup> /h]	n
Quarto 3/Sala de Reuniões	Janelas de Correr e Caixa de Estore	3,90	0,680
Quarto 3	Caudal da IS	5,18	0,517
Sala de Estar	Fixos	11,40	0,616
	Porta	59,83	0,598
Capela	Janela - Depressão	0,02	1,498
	Janela - Pressão	0,14	0,610

### 3.3.4. Dados do vento

Os dados relativos à velocidade do vento foram obtidos através da estação de medição 579 (situada na Av. Gago Coutinho) pertencente ao Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), relativos ao ano de 2014.

A torre anemométrica encontra-se a uma distância de, aproximadamente, 3 800m do edifício de estudo e recolhe dados à cota de 10m, sendo necessário efetuar uma correção dos valores devido às diferenças rugosidades e de altura entre os locais.

As correções utilizadas tinham por base a definição de camada limite atmosférica (CLA) definida como a “parte da troposfera que é diretamente influenciada pela presença da superfície da Terra e que responde à influência da superfície com uma escala de tempo de cerca de uma hora ou menos”[21].

Iniciou-se o tratamento dos dados com a verificação do efeito de orografia, ou seja, foi calculado o coeficiente de orografia ( $c_0$ ) que “tem em conta o aumento da velocidade média do vento sobre solinas isoladas e escarpas (mas não tem regiões onduladas e montanhosas), estando relacionado com a velocidade do vento na base da colina ou da escarpa”[22]. O valor do coeficiente  $c_0$  é influenciado pela inclinação do terreno ( $\Phi$ ), razão entre a altura ( $H$ ) e a distância entre os pontos ( $L_u$ ), como representado na Figura 11. No caso de estudo,  $\Phi$  possui o valor de 0.016, que segundo a Norma EN 1991-1-4 (2010) [22] atribui o valor de 1 a  $c_0$ , o que significa que se podem desprezar os efeitos de orografia e a sua influência na velocidade do vento entre o anemómetro (Local A) e o L24 (Local B).

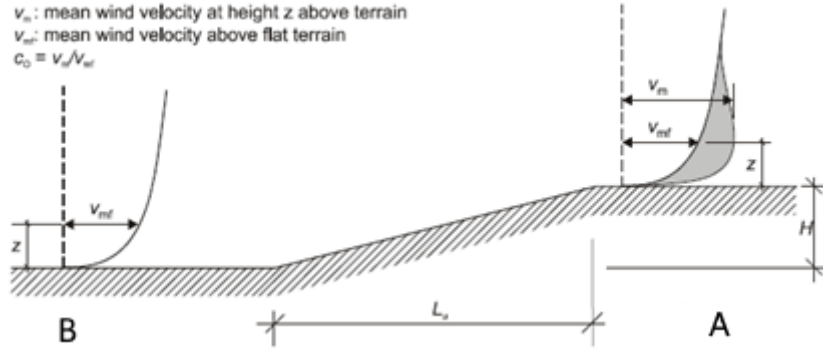


Figura 11: Ilustração do aumento da velocidade do vento devido à orografia [22]

Posteriormente, dividiu-se os dados por 8 secções da rosa-dos-ventos – norte (N), nordeste (NE), este (E), sudeste (SE), sul (S), sudoeste (SO), oeste (O) e noroeste (NO), com um arco de 45° por setor.

### Sector N e NO

O conjunto destes sectores inclui as direções de [0-22;293-360] °, o vento proveniente do intervalo referido atravessa primeiro o anemómetro (local A) e só depois é que atinge o edifício de estudo (local B), sendo assim será necessário realizar uma correção em relação à rugosidade e à altura a que a velocidade do vento é sentida [23].

Numa primeira fase, calculou-se a velocidade de atrito no local da medição de dados A ( $u_{*A}$ ).

$$u_{*A} = \frac{kU_A}{\ln\left(\frac{z_A}{z_{oA}}\right)} \quad 3.9$$

Onde  $k$  é a constante de Von Kármán ( $k = 0.4$ ) e  $z$  é a cota a que se faz sentir a velocidade do vento, neste caso para o local A, por fim  $z_0$  é a altura da rugosidade local.

Tendo em conta que o local B se encontra numa zona urbana, a sua altura de rugosidade é calculada através da altura média da camada de cobertura urbana ( $\overline{h_r}$ ) e a  $\lambda_f$  que representa a razão entre a área média das fachadas e a área total em planta.

$$z_{0B} = 0.5 \times \overline{h_r} \times \lambda_f \quad 3.10$$

Posteriormente, é calculada a espessura da camada limite atmosférica (CLA) no local B ( $\delta_B$ ) que varia com a distância horizontal  $X$  entre o local A e o local B.

$$\delta_B = z_{oB} \times \left[ 0.65 - 0.03 \ln\left(\frac{z_{0B}}{z_{oA}}\right) \right] \times \left( \frac{X}{z_{0B}} \right)^{0.8} \quad 3.11$$

A velocidade de atrito na zona urbana (local B) ( $u_{*B}$ ) é obtida através da equação 3.12

$$u_{*B} = u_{*A} \times \left[ 1 + \frac{\ln\left(\frac{z_{0B}}{z_{oA}}\right)}{\ln\left(\frac{\delta_B}{z_{0B}}\right)} \right] \quad 3.12$$

A cota ( $d$ ) equivalente é aquela a partir da qual se começam a sentir os efeitos de atrito da superfície no perfil de escoamento, esta varia com a influência dos edifícios no deslocamento do escoamento.

$$d = \bar{h}_r \left( 1 - \frac{1 - e^{-\sqrt{15 \times \lambda_f}}}{\sqrt{15 \times \lambda_f}} \right) \quad 3.13$$

Por fim, calculou-se a velocidade do vento na zona B ( $U_B$ ) para a altura de referência (10 metros):

$$U_B = \frac{u_{*B}}{k} \times \ln \left( \frac{z_A - d}{z_{0B}} \right) \quad 3.14$$

Como a altura de medições e a altura da cobertura do L24 é diferente, recorreu-se à lei de potência para ajustar o valor da velocidade do vento, tendo-se utilizado o valor do coeficiente  $\alpha$  definido no “RSA – Regulamento de Segurança de Estruturas de Edifícios e Pontes”[24].

$$U_B(z_B) = U_B \left( \frac{z_B}{z_A} \right)^\alpha \quad 3.15$$

O parâmetro  $\alpha = 0.20$  é utilizado quando o percurso do escoamento é em grande parte sobre o rio e em áreas pouco urbanizadas ou  $\alpha = 0.28$  para os restantes casos onde a rugosidade do terreno é superior. Neste caso, considerou-se o segundo caso apresentado.

Esta metodologia foi aplicada para todos os valores registados e fornecidos pelo IPMA que pertencessem ao intervalo apresentado.

Tabela 5: Parâmetros utilizados para a correção de velocidade do vento no setor N e NO

Parâmetro	Valor
$z_A$ [m]	10
$z_B$ [m]	4
$z_{0A}$ [m]	$0.1^2$
$\bar{h}_r$ [m]	6
$\alpha$ [ad]	0.28
$\lambda_f$ [ad]	0.12

### Setor SO e O

O intervalo da junção destes dois setores inclui as direções entre [203-292] °, o vento proveniente destas direções atravessa uma zona muito edificada até atingir o local A e B, por este motivo considera-se que a velocidade registada pelo anemómetro ( $U_A(10)$ ) é idêntica à velocidade no local B ( $U_B(10)$ ) para a mesma altura. Assim sendo, apenas se aplica a lei de potência, onde se considera que o parâmetro  $\alpha$  tem o valor de 0.28.

### Setor NE

O Sector NE inclui os ventos de 23-67°, que apesar de ganharem velocidade entre o rio e o local de medições, este aumento é contrariado pela rugosidade local entre os pontos de interesse, sendo assim considera-se que as velocidades no local A e o local B são idênticas. A correção é feita através da lei de potência para ajustar a diferença de alturas entre o local de medição (10m) e a altura da cobertura

<sup>2</sup> altura de rugosidade equivalente a um campo de cereais [21]



(4m). Uma vez que o vento atravessa a zona do rio, neste caso considerou-se o parâmetro  $\alpha$  como 0.20.

### Setor E, SE e S

A junção destes três setores engloba o vento do intervalo [68-202] °, o local A para esta direção está colocado a sotavento do L24, isto é, as medições recolhidas já sofreram alterações pela rugosidade do lar até ao anemómetro.

O procedimento para estes setores é semelhante com a exceção do cálculo do parâmetro  $d$ , uma vez que o vento proveniente de S e SE não sofre influência da urbanização, considerando-se 70% da altura média da camada de cobertura urbana. No setor S considera-se a influência da urbanização, utilizando a equação 3.13.

Neste caso, inicia-se o processo pelo cálculo da espessura da camada limite atmosférica na zona A ( $\delta_A$ ).

$$\delta_A = z_{oA} \times \left[ 0.65 - 0.03 \ln \left( \frac{Z_{oA}}{Z_{oB}} \right) \right] \times \left( \frac{X}{Z_{oA}} \right)^{0.8} \quad 3.16$$

Posteriormente, determinou-se a velocidade de atrito para ambos os locais:

$$u_{*A} = \frac{kU_{ref}}{\ln \left( \frac{Z_{ref}}{Z_{o_{ref}}} \right)} \quad 3.17$$

$$u_{*B} = \frac{u_{*A}}{\left[ 1 + \frac{\ln \left( \frac{Z_{oA}}{Z_{oB}} \right)}{\ln \left( \frac{\delta_A}{Z_{oA}} \right)} \right]} \quad 3.18$$

Por fim, calculou-se a velocidade do vento que atinge o local do L4 com a expressão 3.19:

$$U_B = \frac{u_{*B}}{k} \times \ln \left( \frac{z - d}{Z_{oB}} \right) \quad 3.19$$

Aplicou-se a lei de potência para ajustar a diferença de alturas entre a cota de medição e a de cobertura.

Tabela 6: Parâmetros utilizados para a correção de velocidade do vento no setor E, SE e S

Parâmetro	Valor
$Z_A$ [m]	10
$Z_B$ [m]	4
$Z_{oA}$ [m]	0.1 <sup>3</sup>
$\overline{h_{rS}}$ [m]	17.5
$\overline{h_{rE}}$ [m]	9
$\overline{h_{rSE}}$ [m]	10
$\alpha$ [ad]	0.20
$\lambda_{fS}$ [ad]	0.09

<sup>3</sup> altura de rugosidade equivalente a um campo de cereais [21]

### 3.3.5. Coeficientes de pressão

O coeficiente de pressão  $C_p$  é definido por [21]:

$$C_p = \frac{p_i - p_\infty}{\frac{1}{2} \times \rho \times U^2} \quad 3.20$$

Onde  $p_i$  representa a pressão local,  $p_\infty$  a pressão estática de referência e o denominador da equação a pressão dinâmica de referência, sendo  $\rho$  a massa volúmica do ar à temperatura e pressão de referência e  $U$  a velocidade no local. Este parâmetro é adimensional e caracteriza a pressão local sobre uma superfície[23], variando com diversos fatores como a geometria do edifício, orientação, orográfica e obstáculos presentes na envolvente.

A Figura 12 apresenta uma distribuição simplificada dos coeficientes de pressão num edifício retangular.

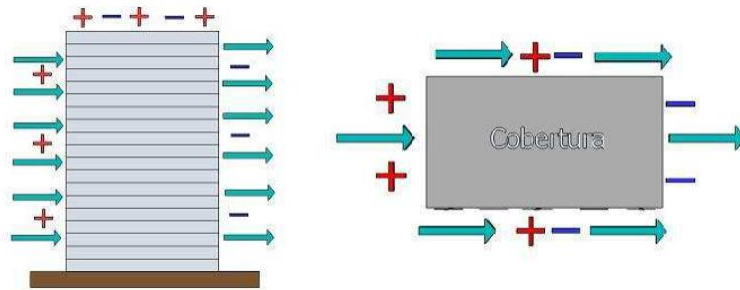


Figura 12: Ilustração simplificada do sinal do  $C_p$  (esquerda: vista de perfil e direita: vista de cima)

De forma a conseguir caracterizar o perfil de  $C_p$  para cada fachada ou zona de interesse, subdividiu-se o L24 nas 17 fachadas, como representado na Figura 13

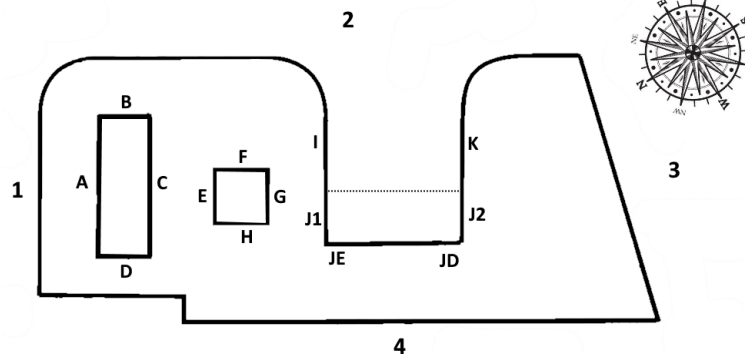


Figura 13: Ilustração simbólica do L24 dividido em 17 zonas

Os valores deste coeficiente são idealmente medidos em ensaios em túnel de vento, mas neste caso utilizou-se o banco de dados da *Tokyo Polytechnic University* [25] que contém vários casos reais de medições de  $C_p$ , considerando várias situações diferentes: presença de obstáculos, distribuição dos edifícios, tipo de telhado, razão entre altura e comprimento, entre outros. A distribuição de incidência de vento nas fachadas depende de caso para caso, existindo casos em que esta é apresentada de 15-15° e outros de 45-45°.

Os dados recolhidos do banco de dados foram adaptados para cada fachada apresentada, dependendo das suas características específicas, obtendo se curvas como a representada na Figura 14. Tal como apresentado na Figura 12, quando o vento incide diretamente na fachada o perfil de  $C_p$  possui valores positivos.

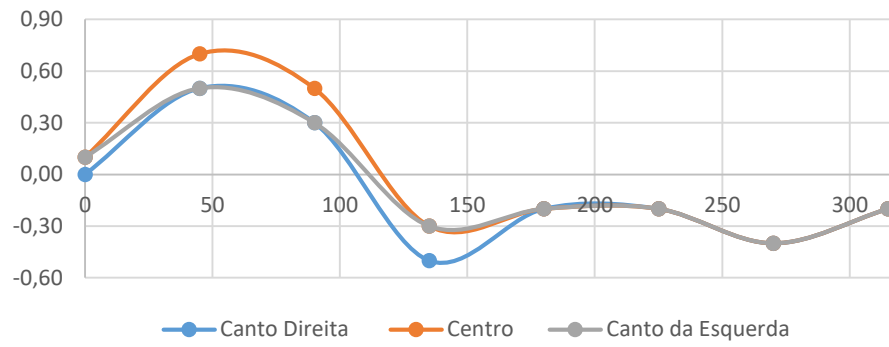


Figura 14: Perfil de  $C_p$  para as três zonas da fachada 1

Na cobertura assumiu-se um valor geral de -0.3, cujo valor era o mais apropriado segundo a bibliografia pesquisada [22].



## Capítulo 4 – Metodologia de Simulação

No presente capítulo apresentam-se as descrições relativas às simulações consideradas mais relevantes para o caso de estudo assim como as suas condições de funcionamento. Estas irão recair principalmente nos seguintes temas:

- Validação do modelo computacional criado com o *software* escolhido;
- Estudo da influência dos equipamentos mecânicos presentes na cozinha e na lavandaria;
- Estudo do comportamento anual do edifício nas condições semelhantes às reais;
- Verificar a aplicabilidade da Norma NP 1037 (2015) no edifício de estudo e as suas mais valias;
- Estudo da inversão de tiragem e excesso de ventilação nos casos de estudo.

### 4.1. Validação do modelo computacional

No Capítulo 3 foram apresentados alguns dos dados de *input* do programa, mas existem parâmetros como a abertura das portas interiores e das janelas, cujo estado em rigor é desconhecido e cuja posição influencia os resultados obtidos no CONTAM. Foram realizadas simulações tendo em vista estudar a sensibilidade a estes parâmetros. Sendo assim, consideraram-se três situações descritas na Tabela 7:

*Tabela 7: Descrição das simulações 1,2 e 3*

<b>Simulação 1.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• As portas interiores dos quartos fechadas</li> <li>• As janelas dos quartos fechadas</li> </ul>
<b>Simulação 2.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• As portas interiores dos quartos fechadas</li> <li>• As janelas dos quartos abertas, mas com as persianas semifechadas (Figura 15)</li> </ul>
<b>Simulação 3.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• As portas interiores dos quartos fechadas, com exceção dos quartos 2,5 e 8 onde as portas estavam encostadas</li> <li>• As janelas dos quartos abertas, mas com as persianas semifechadas</li> </ul>



*Figura 15: Exemplo de uma janela aberta, mas com as persianas semifechadas*

Nas simulações iniciais assumiu-se que a porta principal de entrada do L24 estaria fechada e a porta que faz a ligação entre o hall de entrada e os quartos aberta, em todos os casos desprezou-se os equipamentos mecânicos apresentados na Tabela 2.

Todas as simulações apresentadas foram realizadas para o intervalo de tempo de cada ensaio, sendo que os casos 2 e 3 foram apenas executados para meses de primavera/verão, uma vez que neste período o ambiente exterior poderá estar mais favorável à abertura das janelas para a ventilação natural. Os valores obtidos através destas simulações estão presentes nos Anexos 1 e 2, permitindo a comparação com os valores experimentais.

## 4.2. Influência dos Equipamentos Mecânicos

Após a validação do modelo computacional, analisou-se a influência dos equipamentos mecânicos da lavandaria e cozinha na ventilação dos quartos de dormir, sendo este o ponto de interesse desta dissertação. Assumiram-se 7 casos com o intuito de verificar o comportamento do edifício durante o funcionamento das máquinas em questão. Nas simulações presentes na Tabela 8 utilizaram-se os princípios que estão na base da simulação 1 (as portas interiores dos quartos e as janelas fechadas).

*Tabela 8: Descrição das simulações 4 a 10*

<b>Simulação 4.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Porta principal (<i>hall</i> de entrada) fechada</li> <li>• Porta que faz a ligação do hall de entrada para os quartos aberta</li> <li>• Janelas da lavandaria e cozinha totalmente fechadas</li> </ul>
<b>Simulação 5.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Porta principal (<i>hall</i> de entrada) fechada</li> <li>• Porta que faz a ligação do hall de entrada para os quartos aberta</li> <li>• 2 Janelas da lavandaria abertas</li> <li>• Janela da cozinha aberta</li> </ul>
<b>Simulação 6.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Porta principal (<i>hall</i> de entrada) fechada</li> <li>• Porta que faz a ligação do hall de entrada para os quartos aberta</li> <li>• Todas as janelas da lavandaria abertas</li> <li>• Janela da cozinha aberta</li> </ul>
<b>Simulação 7.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Porta principal (<i>hall</i> de entrada) fechada</li> <li>• Porta que faz a ligação do hall de entrada para os quartos fechada</li> <li>• Todas as janelas da lavandaria abertas</li> <li>• Janela da cozinha aberta</li> </ul>
<b>Simulação 8.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Porta principal (<i>hall</i> de entrada) aberta</li> <li>• Porta que faz a ligação do hall de entrada para os quartos fechada</li> <li>• Todas as janelas da lavandaria abertas</li> <li>• Janela da cozinha aberta</li> </ul>
<b>Simulação 9.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Porta principal (<i>hall</i> de entrada) aberta</li> <li>• Porta que faz a ligação do hall de entrada para os quartos aberta</li> <li>• Todas as janelas da lavandaria abertas</li> <li>• Janela da cozinha aberta</li> </ul>

**Simulação 10.**

- Porta principal (*hall* de entrada) aberta
- Porta que faz a ligação do hall de entrada para os quartos aberta
- As janelas da lavandaria e da cozinha fechadas

### 4.3. Comportamento do Edifício em Condições Normais

Após se verificar a influência dos equipamentos mecânicos na ventilação dos quartos de dormir, realizou-se uma simulação anual (Tabela 9) para se analisar o comportamento edifício ao longo do ano.

Tabela 9: Descrição das condições da simulação 11.

**Simulação 11.**

- Porta principal (*hall* de entrada) fechada
- Porta que faz a ligação do hall de entrada para os quartos aberta
- As janelas da lavandaria e da cozinha fechadas
- Portas dos quartos de dormir fechadas
- Janelas dos quartos de dormir fechadas

### 4.4. Comportamento do Edifício segundo a Norma 1037 (2015)

A Norma 1037 tem como “objetivo definir as regras a que devem obedecer os sistemas de ventilação natural dos edifícios de habitação, de modo a que os mesmos cumpram a sua função nos seus múltiplos aspetos” assegurando a qualidade do ar interior, esta aplica-se a edifícios com menos de 30 metros de altura[8].

Tendo em conta a disposição do L24, o esquema de ventilação é o de conjunta (Figura 16), onde a admissão de ar é realizada pelos compartimentos principais (quartos) e a exaustão pelos compartimentos de serviço (instalações sanitárias)[8].



Figura 16: Exemplo de ventilação conjunta

O caudal-tipo é o caudal de referência utilizado para dimensionar o sistema de ventilação natural. É o maior valor que se obtém aplicando as regras indicadas na Norma NP 1037 (Tabela 10). São indicados valores diferentes consoante se trate da parte 1 ou parte 2 da mesma [8][26].

Tabela 10: Condições de escolha dos caudais-tipo segundo a Norma NP 1037

<b>Norma 1037 – parte 1</b>	1 RPH nos compartimentos principais Ou 4 RPH nos compartimentos de serviços
<b>Norma 1037 – parte 2</b>	5 L/s $\times$ número de ocupantes nos compartimentos principais Ou 8.3 L/s nos compartimentos de serviços

A permeabilidade ao ar das portas interiores, isto é, portas que limitem setores separados de ventilação (portas dos quartos de dormir) não deve ser superior a 3.3 L/(s.m), o equivalente a 12m<sup>3</sup>/(h.m<sup>2</sup>) para uma diferença de pressão de 100 Pa [8].

Em ambas as partes são considerados dois tipos diferentes de admissão de ar na parede da fachada: grelhas fixas (aberturas não-reguláveis) e aberturas auto-reguláveis. Este segundo tipo de aberturas têm a vantagem de evitar o retorno do ar do interior para o exterior do compartimento, permitindo assim que não exista um fluxo inverso de ar.

O desempenho das aberturas auto-reguláveis é caracterizado no *CONTAM* pela equação 4.1

$$Q = Q_0 \left( 1 - e^{-\frac{\Delta P}{\Delta P_0}} \right) \quad 4.1$$

Onde,

$Q$  é o caudal de atravessa a abertura

$Q_0$  é o valor máximo de caudal [m<sup>3</sup>/h]

$\Delta P$  é a diferença de pressão [Pa]

$\Delta P_0$  é a diferença de pressão máxima, a partir da qual o fluxo é limitado ao fluxo máximo [Pa]

Estas devem garantir caudais iguais ou superiores aos previstos para os compartimentos principais onde são aplicadas, preferencialmente para a diferença de pressão de 2 Pa. Estas limitam o caudal de entrada, impedindo algumas situações de excesso de ventilação, como podemos ver na Figura 17.

Por outro lado, o comportamento da abertura não regulável é descrito pela equação 3.6. Através da Figura 17 é possível verificar que o caudal que passa na abertura cresce com o aumento da diferença de pressão.

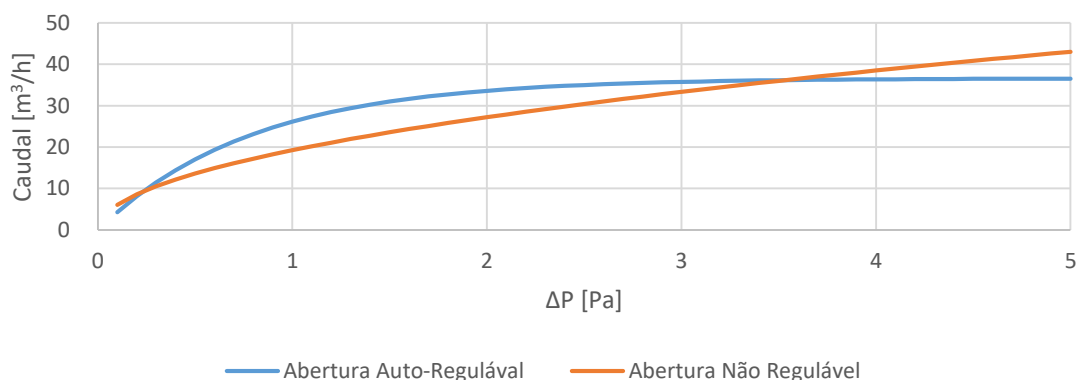


Figura 17: Comportamento dos diferentes tipos de abertura de admissão de ar



A área de abertura para caudal-tipo calculado para cada caso foi obtida através da Figura 18, este foi criado com base nos valores presentes na Norma 1037 (2015) [8].

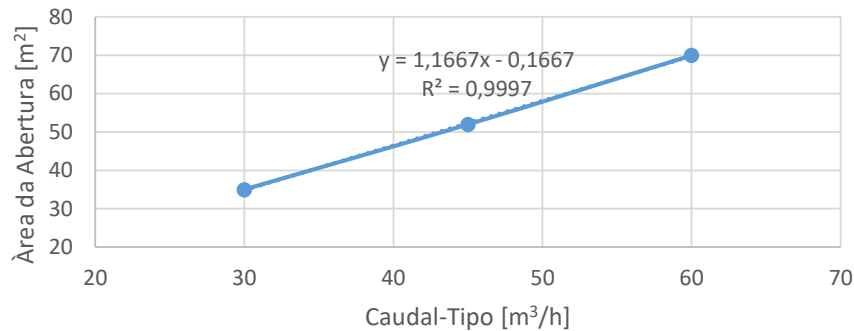


Figura 18: Área da abertura para admissão de ar

No modelo computacional assumiu-se que as portas das instalações sanitárias estavam sempre abertas, por esse motivo desprezaram-se as aberturas para a passagem de ar entre compartimentos.

As condutas de evacuação de ar são individuais para cada instalação sanitária e direcionadas para a cobertura do lar (Figura 19), estas são equipadas com um ventilador estático. No modelo computacional estimaram-se as características das condutas pelo modelo *Darcy-Colebrook* com uma rugosidade de 0.0015 mm[27]. Estas foram consideradas circulares e obteveram-se as áreas necessárias a cada caso a partir da Figura 20, que tem por base os valores fornecidos pela Norma 1037 (2015) [8].

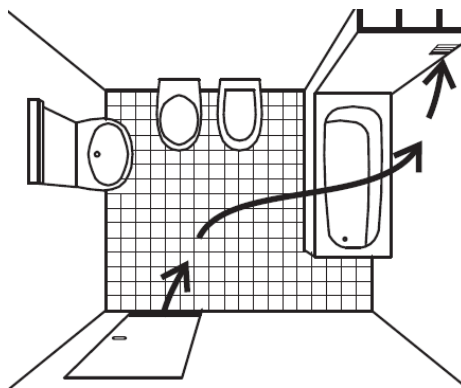


Figura 19: Exemplo de colocação de sistema de exaustão de ar numa IS

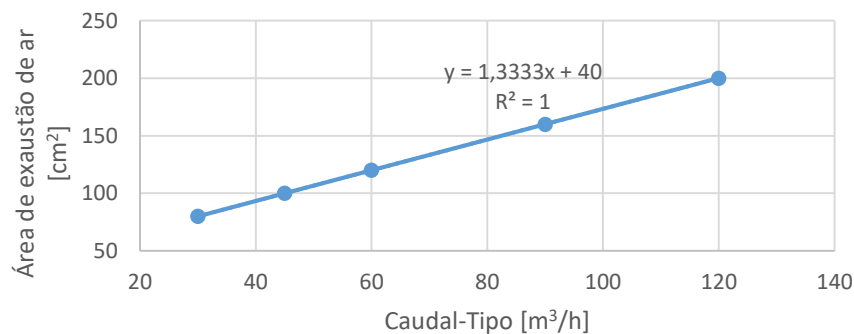


Figura 20: Área de abertura para exaustão de ar

Tendo em conta as duas partes da Norma NP 1037 e a existência de duas aberturas para a admissão de ar realizaram-se 4 casos para o estudo da aplicabilidade da Norma 1037 (2015), apresentados na Tabela 11.

*Tabela 11: Descrição das simulações 12 à 15*

<b>Simulação 12.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Condições-base da simulação 10</li> <li>• Características das portas interiores segundo a norma 1037 (2015)</li> <li>• Aberturas de admissão de ar não reguláveis nos quartos de dormir, com as dimensões normalizadas na norma 1037 – parte 1 (2015)</li> </ul>
<b>Simulação 13.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Condições-base da simulação 10</li> <li>• Características das portas interiores segundo a norma 1037 (2015)</li> <li>• Aberturas de admissão de ar auto - reguláveis nos quartos de dormir, com as dimensões normalizadas na norma 1037 – parte 1 (2015)</li> </ul>
<b>Simulação 14.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Condições-base da simulação 10</li> <li>• Características das portas interiores segundo a norma 1037 (2015)</li> <li>• Aberturas de admissão de ar não reguláveis nos quartos de dormir, com as dimensões normalizadas na norma 1037 – parte 2 (2009)</li> </ul>
<b>Simulação 15.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Condições-base da simulação 10</li> <li>• Características das portas interiores segundo a norma 1037 (2015)</li> <li>• Aberturas de admissão de ar auto - reguláveis nos quartos de dormir, com as dimensões normalizadas na norma 1037 – parte 2 (2009)</li> </ul>

#### 4.5. Outras Simulações

Teoricamente a abertura autorregulável apresenta melhores resultados nas taxas de ventilação para as diferenças de pressão baixas, como podemos ver na Figura 17, tendo por base esta suposição foram realizadas mais duas simulações – 15 e 16 – com este tipo de admissão de ar. O objetivo destas é ver o efeito de inversão de tiragem e excesso de ventilação com o aumento da área de admissão e exaustão de ar. Nestas simulações alteraram-se apenas as condições de caudal-tipo em relação à norma, sendo que a restante metodologia permanece igual.

*Tabela 12: Condições para o caudal- tipo das simulações 15 e 16*

<b>Simulação 16.</b>	1.5 RPH nos compartimentos principais Ou 5 RPH nos compartimentos de serviços
<b>Simulação 17.</b>	2 RPH nos compartimentos principais Ou 6 RPH nos compartimentos de serviços

## Capítulo 5 – Resultados e Discussão

### 5.1. Validação do modelo

As simulações iniciais, referidas no capítulo anterior, foram realizadas com o intuito de validar o modelo computacional criado.

Observando os resultados da simulação 1 e comparando com os dados experimentais presentes no Anexo 1 e Anexo 2, verificou-se que os valores em geral são semelhantes, com exceção dos dados da técnica de emissão constante realizados em dias típicos de primavera/verão, onde as taxas de ventilação são praticamente inexistentes. Nas medições realizadas em período noturno, pela técnica da emissão constante, não foi possível conhecer a posição em que os idosos colocavam as portas e as janelas dos quartos. Assim, admitiu-se que estes componentes poderiam estar colocados em posições de semiabertura que incrementassem a ventilação.

As simulações 2. e 3. foram realizadas na tentativa de aproximar os resultados do modelo com os dados experimentais dos dias de primavera/verão. Adotaram-se dois hábitos correntes que é a abertura das janelas para a entrada do ar fresco do exterior e/ou o de encostar as portas dos quartos dormir. Ajustando a posição de abertura destes dois componentes chegou-se a resultados interessantes, como os apresentados na Figura 21 que comparam os valores de RPH no quarto 2. Neste verifica-se que a utilização conjunta da abertura das janelas e da porta interior encostada aproximou os valores do modelo aos recolhidos no local de estudo. Evidencia-se assim que o modelo do edifício tem uma boa aproximação aos resultados experimentais desde que sejam assumidas hipóteses razoáveis relativamente às incógnitas.

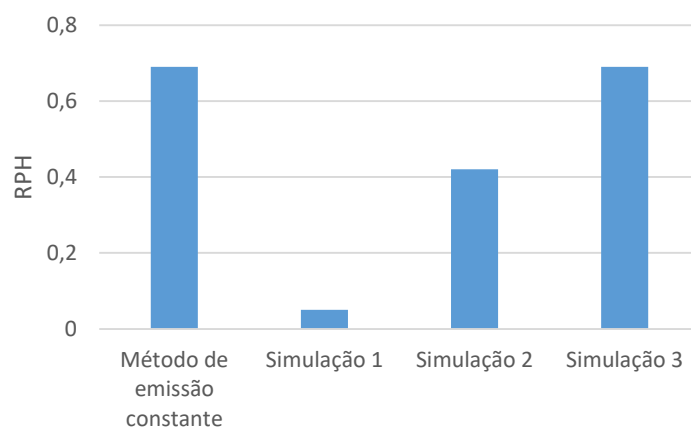


Figura 21: Resultados das simulações 1, 2 e 3 para o quarto 2

Tendo em conta os resultados obtidos pelas três simulações realizadas validou-se o modelo computacional, uma vez que para qualquer caso os valores de RPH são muito baixos.

### 5.2. Influência dos equipamentos mecânicos

Os equipamentos mecânicos considerados foram os secadores e as bocas de exaustão presentes na lavandaria e a hote da cozinha. A zona da cozinha e da lavandaria (Figura 2) situam-se na zona oposta em relação à zona das suítes, sendo assim necessário verificar se estes influenciam o fluxo de ar nos quartos.

As simulações realizadas consideram alguns hábitos diários registados durante a realização dos ensaios como a abertura das janelas da cozinha e lavandaria (Figura 22), a porta de entrada principal encontrar-se aberta durante o funcionamento normal do lar (8h-19h) (Figura 23) e as portas interiores encontrarem-se normalmente fechadas. As simulações foram descritas na secção 4.2.

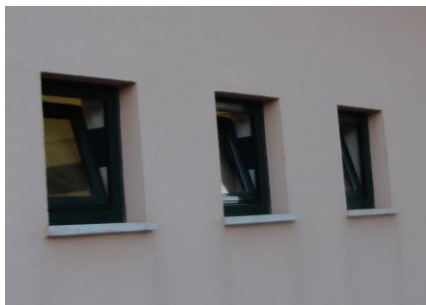


Figura 22: Janelas da lavandaria abertas



Figura 23: Porta principal do edifício aberta

Os resultados das simulações são apresentados na Figura 24, onde se apresenta os dados de RPH referentes ao quarto 19, uma vez que este é a suíte mais perto das zonas que utilizam os equipamentos. A simulação 1 foi considerada como o “caso base” uma vez que foi com esta que se validou o modelo computacional apresentado.

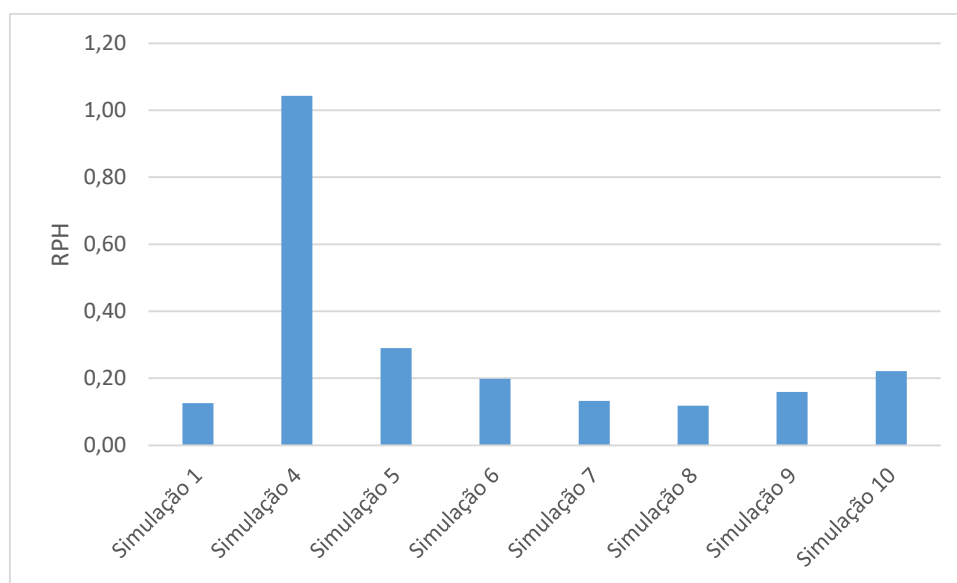


Figura 24: Resultados obtidos nas simulações 4 a 10 para o quarto 19

Atentando à Figura 24 e à Tabela 13 observa-se que as simulações que atingiram valores mais perto do caso base (simulação 1) foram a número 7 e 8.

Comparando os resultados das simulações 4 e 10 (Tabela 13 e Figura 24), conclui-se que a abertura da porta principal de entrada diminui a influência do funcionamento da cozinha e da lavandaria na ventilação dos quartos de dormir.

*Tabela 13: Resultados obtidos através das simulações 4 a 10*

<b>Caso</b>	<b>RPH</b>	<b><math>\Delta</math> RPH</b>
<b>Simulação 1 (caso base)</b>	0,126	-
<b>Simulação 4</b>	1,043	731%
<b>Simulação 5</b>	0,290	131%
<b>Simulação 6</b>	0,198	58%
<b>Simulação 7</b>	0,132	5%
<b>Simulação 8</b>	0,118	-6%
<b>Simulação 9</b>	0,159	27%
<b>Simulação 10</b>	0,222	76%

As simulações 5. e 6. demonstram a importância da abertura das janelas das zonas de serviço, uma vez que se consegue observar uma diminuição brusca na taxa de ventilação quando comparado com a simulação 4.

Conclui-se que, estando as janelas da cozinha e da lavandaria abertas bem como a porta principal durante o horário de funcionamento das zonas de serviço, os equipamentos mecânicos não têm influência nas taxas de ventilação dos quartos de dormir, podendo ser desprezados.

### 5.3. Comportamento anual da taxa de ventilação no edifício

O modelo computacional foi reproduzido anualmente e mensalmente, obtendo-se os resultados na Tabela 14, onde se encontram também os valores de velocidade e direção média do vento para cada mês.

*Tabela 14: Valores de renovações médias mensais, velocidade média mensal e direção média mensal*

<b>Mês</b>	<b>RPH</b>	<b>Velocidade média mensal do vento (m/s)</b>	<b>Rumo Médio Mensal (°)</b>
<b>Janeiro</b>	0,13	2,5	239
<b>Fevereiro</b>	0,15	3,0	258
<b>Março</b>	0,12	2,3	208
<b>Abril</b>	0,10	2,1	222
<b>Maio</b>	0,11	2,6	229
<b>Junho</b>	0,10	2,4	241
<b>Julho</b>	0,10	2,5	273
<b>Agosto</b>	0,09	2,4	267
<b>Setembro</b>	0,08	2,1	203
<b>Outubro</b>	0,10	2,2	158
<b>Novembro</b>	0,10	2,2	209
<b>Dezembro</b>	0,13	2,2	133
<b>ANUAL</b>	0,11	2,4	220

A Tabela 14 fornece uma ideia global das taxas de ventilação ao longo do ano; estas são reduzidas quando comparadas com as taxas de ventilação estabelecidas pela Norma 1037 (2015).

O mês onde se verifica maior velocidade de vento é fevereiro, o que, traduz uma maior taxa de ventilação, tendo um melhor efeito. Contrariamente, setembro é o mês que possui menor taxa de ventilação, correspondendo também ao mês com menor velocidade de vento registada. Conclui-se que, como esperado, existe uma relação entre a velocidade do vento e o fluxo de ar no interior do edifício.

Outro caso interessante é a comparação entre novembro e dezembro, que apesar de pertencerem à mesma estação do ano e de terem velocidades de vento médias idênticas, apresentam uma diferença de cerca de 20% nas RPH. Esta desigualdade é justificada pelo rumo médio do vento, uma vez que esta influencia o  $C_p$  considerado. Os perfis de  $C_p$  variam entre fachadas e seguem na sua maioria uma tendência para ter o seu maior valor em módulo no intervalo de direções entre os 70-150° e no intervalo 170-225°, provocando assim maior escoamento de ar no edifício.

A influência dos coeficientes de pressão também pode ser verificada comparando os meses de janeiro e dezembro, onde o primeiro tem maior valor de velocidade de vento, mas os valores de taxas de ventilação são idênticos entre eles.

Posteriormente, consideraram-se as 4 estações do ano – inverno, primavera, verão e outono – e como esperado o inverno foi a estação com maior número de RPH nos quartos de dormir (Tabela 15). Os resultados vão de encontro ao esperado, uma vez que foi nos meses de inverno do ano típico considerado que se registaram as maiores velocidades de vento com um rumo médio de 210°, além de que existe um maior gradiente térmico entre o interior e o exterior do edifício.

*Tabela 15: Valores de RPH por estação do ano*

<b>Estação do Ano</b>	<b>RPH</b>	<b>Velocidade média do vento (m/s)</b>
Inverno	0,14	2,6
Primavera	0,11	2,3
Verão	0,09	2,4
Outono	0,09	2,2

Após uma análise geral do edifício, os quartos de dormir foram agrupados em função da sua posição na planta do edifício (Figura 2), levando à criação de 5 grupos distintos, que são apresentados na Tabela 16.

Tabela 16: Valor de RPH por grupo de quartos

Grupo	Quarto	RPH/Quarto	RPH/Grupo
<b>A</b>	3	0,17	0,16
	4	0,15	
	5	0,15	
	6	0,15	
	7	0,15	
<b>B</b>	8	0,15	0,15
	9	0,15	
	10	0,15	
	11	0,15	
<b>C</b>	12	0,14	0,14
	13	0,14	
	14	0,14	
	15	0,15	
	16	0,14	
<b>D</b>	2	0,12	0,14
	17	0,14	
	18	0,14	
<b>E</b>	19	0,15	0,15
	20	0,18	
	21	0,14	
	22	0,14	
	23	0,14	
<b>Quarto de Apoio</b>		0,19	0,19

O quarto de apoio (QA) foi considerado individualmente porque tem um volume muito inferior ao dos restantes quartos, influenciando a ventilação que é sempre superior à dos restantes compartimentos.

Observando os resultados apresentados, conclui-se que dentro de cada grupo não existe uma diferença considerável entre quartos, passando assim a realizar-se uma análise mais aprofundada através de quartos-típicos. Estes foram escolhidos pela sua proximidade à média de cada grupo, escolhendo-se assim os quartos apresentados na Tabela 17.

Tabela 17: Quartos-típicos considerados

Grupo	Quarto-Típico
<b>A</b>	5
<b>B</b>	10
<b>C</b>	14
<b>D</b>	17
<b>E</b>	21
<b>QA</b>	QA

Os quartos-típicos também foram simulados mensalmente e anualmente obtendo um comportamento apresentado na Figura 25, que está em conformidade com os dados anuais apresentados anteriormente. As curvas possuem comportamentos semelhantes entre si, o que seria de esperar, as pequenas diferenças podem ser justificadas pela variação da direção do vento. O quarto de apoio, tal como esperado, é aquele que apresenta uma maior taxa de ventilação.

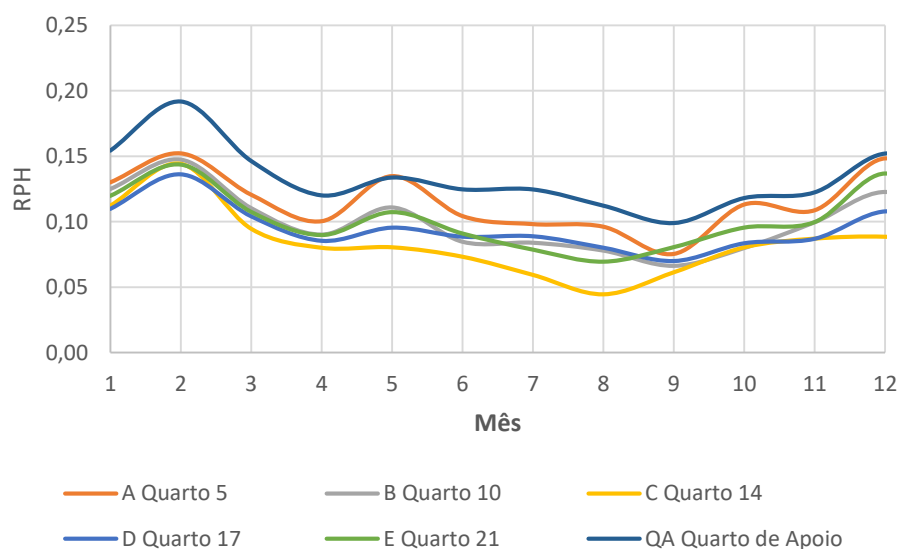


Figura 25: Comportamento das taxas de ventilação ao longo do ano

## 5.4. Aplicabilidade da Norma 1037 (2015)

As partes 1 (ventilação natural) e 2 (ventilação mecânica) da Norma NP 1037 especificam os caudais mínimos de ventilação dos compartimentos principais utilizando critérios diferentes; a parte 1 especifica uma taxa de ventilação em função do volume do compartimento (Tabela 1) enquanto a parte 2 considera o número de ocupantes por quarto, tratando-se neste caso de quartos duplos, à exceção do quarto de apoio que é individual. Também os critérios de especificação dos caudais de ventilação para os compartimentos de serviço diferem para as duas partes da norma, conforme referido no capítulo precedente.

Os resultados das simulações referentes às condições da Norma NP 1037 são apresentados na Figura 26.

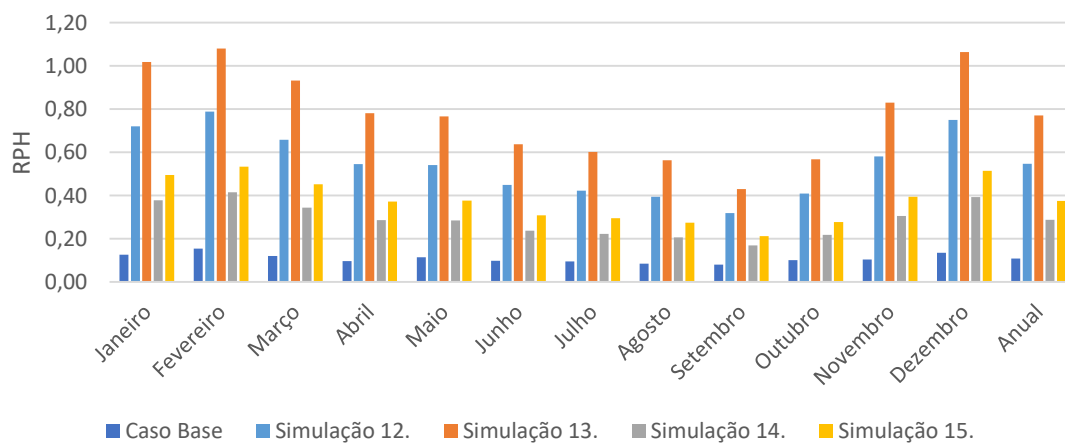


Figura 26: Resultados obtidos através das simulações 12, 13, 14 e 15



Numa análise geral dos resultados, conclui-se que considerando os caudais mínimos especificados na parte 1 da norma, o fluxo de ar interior melhora consideravelmente, apesar de continuar a apresentar taxas de ventilação médias mensais baixas.

As simulações 12 e 13 utilizam as condições de caudal-tipo tendo em conta o volume do compartimento. Estas assumem taxas de ventilação muito superiores quando comparadas com os resultados que consideram apenas o número de ocupantes (simulação 14 e 15).

A partir da Figura 26, conclui-se que as aberturas autorreguláveis (simulações 13 e 15) conseguem atingir taxas de ventilação superiores às aberturas não reguláveis (simulações 12 e 14). Estes valores vão de encontro ao esperado, tendo em conta o comportamento das aberturas apresentado na Figura 17.

A simulação 13 é a que apresenta melhores resultados em relação à taxa de ventilação média mensal, atingindo valores aproximadamente 7.4 vezes superiores ao caso base (Simulação 1).

Após a análise global do edifício, observou-se o comportamento da ventilação nos quartos-típicos (Figura 27) revelando-se idêntico à análise anual do edifício. O quarto 5 tem um valor de taxa de ventilação superior aos restantes, uma vez que este tem a janela integrada na fachada mais exposta do edifício, onde o vento incide diretamente cerca de 30% do tempo (vento do setor NE e N).

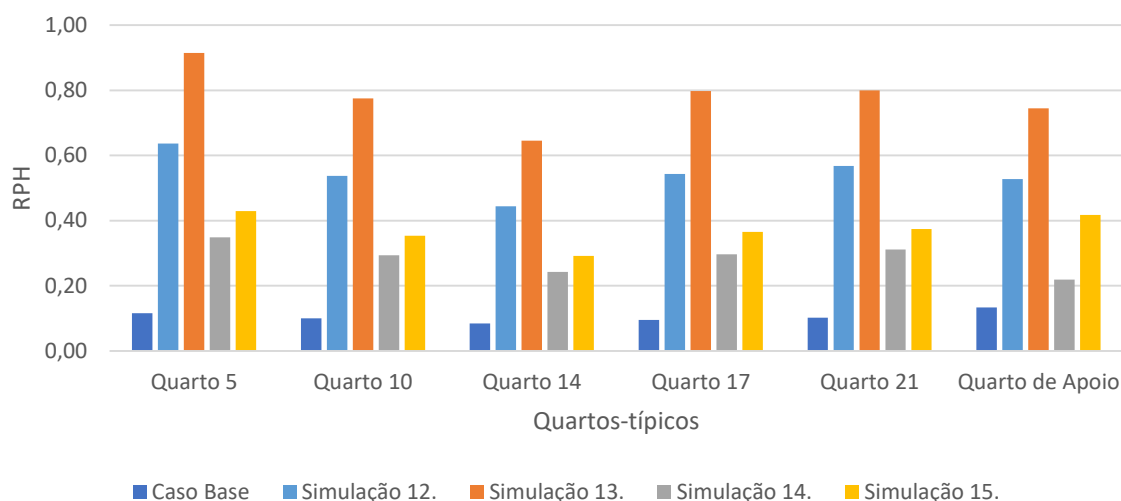


Figura 27: Média anual de RPH para os quartos-típicos tendo em conta a Norma NP 1037

## 5.5. Inversão de tiragem e excesso de ventilação

O *software* CONTAM fornece informações específicas do que acontece em cada caminho de escoamento (“*flow path*”) criado no modelo. Utilizando esta característica calcularam-se os caudais de ar que circulavam por cada compartimento (quarto + IS) num intervalo de tempo de 10 minutos ao longo do ano típico. Assim sendo, considerou-se que os sentidos de circulação seriam os indicados na Figura 28.

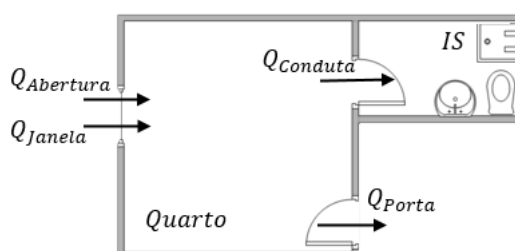


Figura 28: Simbologia da circulação dos caudais de ar nos compartimentos

Relacionando a informação presente na Figura 28 numa equação matemática temos que:

$$Q_{Conduta} + Q_{Porta} = Q_{Abertura} + Q_{Janela} \quad [5.1]$$

Assim, o caudal que passa por cada compartimento é dado pela seguinte equação:

$$Q_{Compartimento} = \frac{abs(Q_{Conduta}) + abs(Q_{Porta}) + abs(Q_{Abertura}) + abs(Q_{Janela})}{2} \quad [5.2]$$

Utilizou-se o caudal do compartimento para calcular as taxas de ventilação médias anuais para cada quarto em cada simulação, onde se obtiveram os valores presentes na Tabela 18.

Tabela 18: RPH médias anuais obtidas através dos caudais do compartimento

Simulação	1 2	1 3	1 4	1 5
Quarto 5	0 .64	0 .91	0 .35	0 .43
Quarto 10	0 .51	0 .75	0 .28	0 .34
Quarto 14	0 .44	0 .64	0 .24	0 .29
Quarto 17	0 .54	0 .80	0 .30	0 .36
Quarto 21	0 .56	0 .81	0 .31	0 .38
Quarto de Apoio	0 .53	0 .74	0 .22	0 .42

De forma a simplificar a comparação entre resultados, utilizou-se para cada quarto o valor de RPH médio de cada simulação como base e obteve-se uma curva normalizada nesse valor. Esta caracteriza a percentagem de tempo que cada quarto tem numa determinada taxa de ventilação, como apresentado na Figura 29.

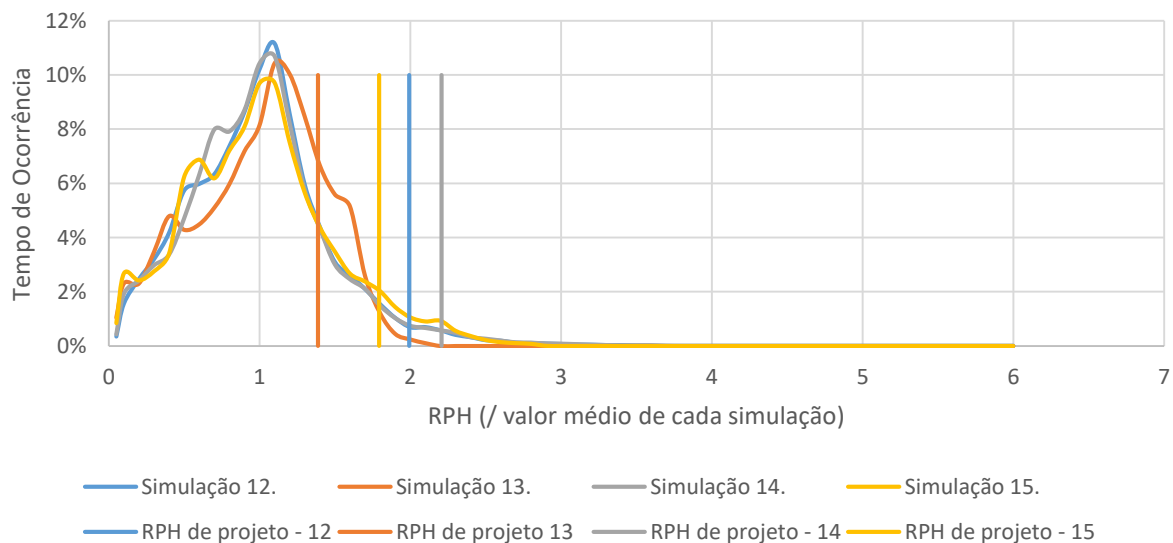


Figura 29: Curva característica do comportamento da taxa de ventilação por percentagem de tempo de ocorrência para o quarto 5

Na Figura 29 consegue-se observar que, como seria de esperar, os picos das curvas ocorrem à volta do valor médio e que o valor máximo de RPH é, aproximadamente 2.5 vezes o valor de RPH médio calculado. No mesmo gráfico, está representado o valor de RPH presentes na Norma NP 1037, concluindo que as RPH só são iguais ou superiores ao valor de projeto durante uma pequena fração de tempo.

Existem picos secundários nas curvas apresentadas verificando-se principalmente quando o vento provem dos setores SE, E e SO, logo estes ocorrem devido ao perfil de coeficiente de pressão que se traduz em RPH naquele intervalo de valores.

O quarto de apoio com as condições da simulação 14 (Figura 30) é aquele que possui menor taxa de ventilação média (Tabela 18), sendo por isso aquele que apresenta menor tempo de ocorrência com RPH iguais ou superiores à de projeto.

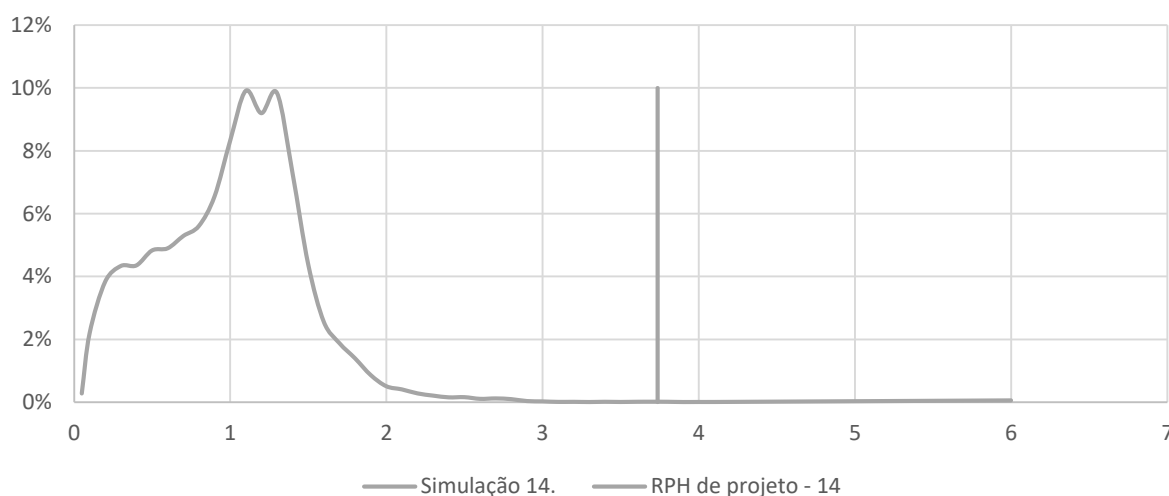


Figura 30: Curva característica do comportamento da taxa de ventilação por percentagem de tempo de ocorrência para o quarto de apoio (simulação 14)

No Anexo 5 estão presentes todos os casos realizados neste estudo, incluindo os restantes quartos típicos para as simulações 12, 13, 14 e 15. Estes têm um comportamento semelhante entre si e um perfil de RPH idêntico de quarto para quarto.

Assumindo que as taxas de ventilação presentes na Norma NP 1037 são as mínimas necessárias para manter a qualidade do ar interior e que quando ocorrem RPH superiores a estas, poderá eventualmente tratar-se de situações de excesso de ventilação que poderá causar desconforto, obteve-se a Figura 31. Este apresenta as percentagens de tempo em que existe eventual “excesso de ventilação” em cada quarto-típico para cada simulação considerada.

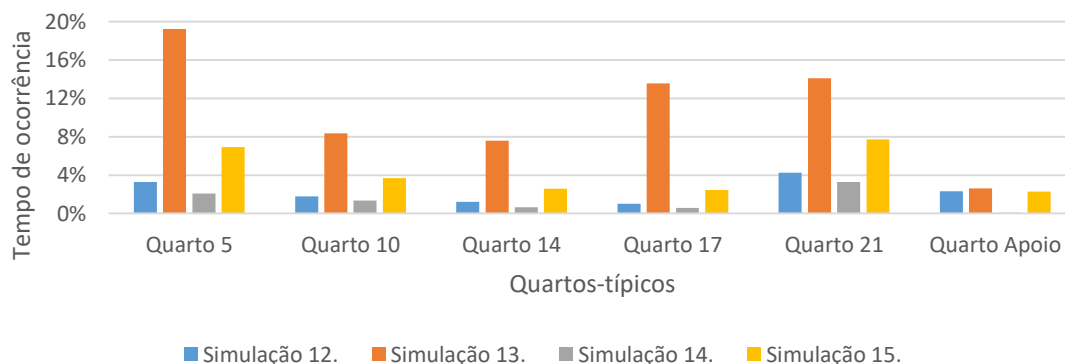


Figura 31: Representa o eventual excesso de ventilação relativamente às condições da Norma NP 1037

A partir da Figura 31 verifica-se que as condições presentes na simulação 13 apresentam as maiores taxas de renovação e, consequentemente têm valores mais altos de excesso de ventilação.

As simulações 16 e 17 foram realizadas com o intuito de verificar se compensaria aumentar as aberturas de admissão e de evacuação de ar em relação aos valores presentes na Norma NP 1037. A Figura 32 mostra que estas simulações atingem valores de RPH mais próximos dos valores de referência na Norma NP 1037, enquanto a simulação 13 apenas abrange, sensivelmente 75% das RPH de projeto no melhor caso (quarto 5).

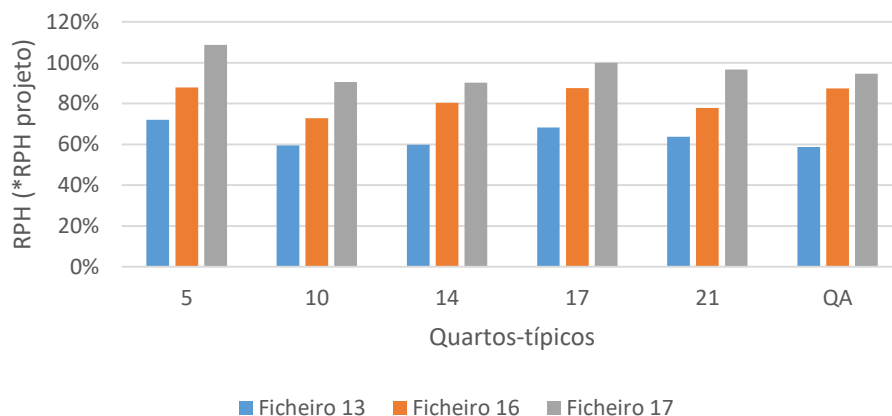


Figura 32: Representa a percentagem de RPH de projeto que cada simulação atinge

Por outro lado, quanto maior a percentagem de RPH de projeto atingido, maior será o excesso de ventilação verificado, como podemos ver pela Figura 33. Este demonstra que as condições da simulação 13. produzem um excesso de ventilação e possibilidade de desconforto muito inferior às restantes simulações apresentadas.

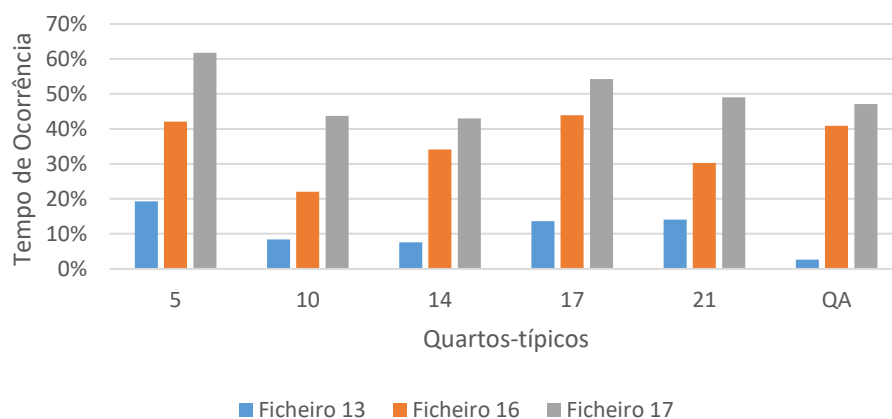


Figura 33: Excesso de ventilação relativo às simulações 16 e 17

A inversão de tiragem ocorre quando o fluxo nas condutas de evacuação de ar inverte, isto é, quando o sentido do caudal nas condutas é do exterior para o interior, o que obriga a que o ar viciado não saia pela abertura indicada. Esta inversão pode acontecer em alguns casos devido ao efeito eólico mas é normalmente devida ao gradiente térmico entre o exterior e o interior do edifício [28]. Dado que o caudal do compartimento é positivo quando no sentido interior para o exterior e negativo na situação contrária, calculou-se a percentagem de tempo em que este fenómeno acontece num ano típico no edifício de estudo (Figura 34).

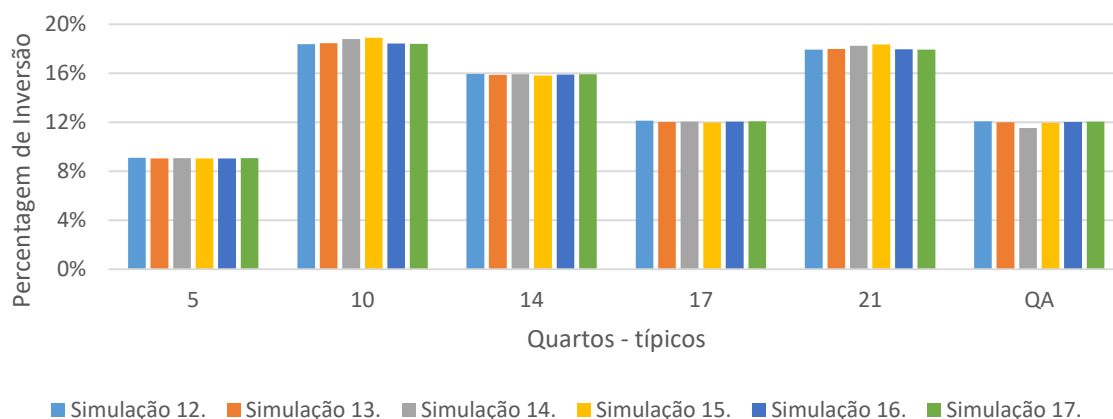


Figura 34: Percentagem de ocorrência de inversão de tiragem nos quartos-típicos

Os valores de inversão de tiragem são semelhantes entre simulações (Figura 34), concluindo-se que este não depende das condições de admissão e evacuação de ar. Os quartos-típicos apresentam diferentes valores entre si, devido ao efeito do vento que altera as taxas de ventilação em cada compartimento, como se pode verificar na Figura 26.

A Figura 35 demonstra que a inversão de tiragem tem maior percentagem de acontecimento nos meses no Verão (junho, julho e agosto) e nos meses de Outono (setembro e outubro), dado que estes apresentam temperaturas exteriores superiores aos 20°C, podendo atingir os 30°C.

Anualmente, verifica-se que cerca de 26% do tempo o gradiente térmico é favorável à inversão de tiragem, este fator é contrariado pelo efeito eólico. Apresentando assim um valor médio de alteração do sentido do fluxo de ar de, aproximadamente, 15%.

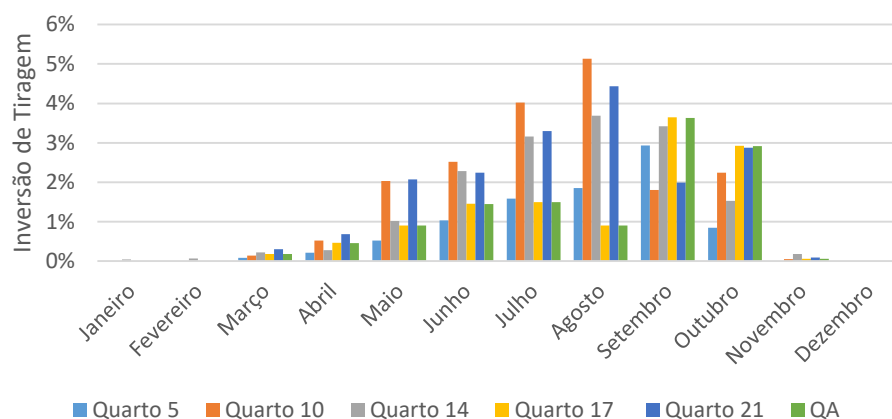


Figura 35: Fenómeno de inversão de tiragem ao longo do ano nos quartos típicos para a simulação 13

Conclui-se que a inversão de fluxo nas condutas no caso de estudo acontece, principalmente por efeitos térmicos dado que a temperatura interior do edifício está fixa nos 20°C e apenas a temperatura exterior varia.



## Capítulo 6 - Síntese e conclusões

O trabalho apresentado nesta dissertação salienta a importância de estudos da ventilação em edifícios, dado que estes nem sempre possuem taxas de ventilação suficientes para manter a qualidade do ar interior e o bem-estar dos utilizadores.

O *software* CONTAM demonstrou ser uma ótima ferramenta de trabalho para estudos de ventilação natural simulando de forma real um edifício existente. Introduzindo as características interiores e exteriores no programa, este conseguiu reproduzir taxas de ventilação semelhantes às recolhidas experimentalmente através dos métodos de decaimento, emissão constante e PFT's, validando assim o modelo computacional criado.

O L24 apresenta taxas de ventilação muito baixas no quarto de dormir, atingindo um valor extremo de 0.15 RPH no mês de fevereiro, assim sendo é possível afirmar que o ar dos compartimentos poderá estar viciado, o que prejudica a saúde dos utentes do lar. O caso de estudo possui um comportamento que corresponde ao esperado atingindo valores superiores de ventilação nos meses de inverno e primavera e inferiores no verão e outono.

O comportamento anual entre os quartos-típicos escolhidos (5, 10, 14, 17, 21) é semelhante entre si, existindo pequenas diferenças devido à sua posição na planta do edifício e consequentemente do perfil de coeficientes de pressão atribuído. O quarto de apoio possui um comportamento idêntico aos restantes, apresentado RPH superiores dado que possui uma área útil muito inferior.

A Norma NP 1037 (2015) é específica para ventilação natural em edifícios habitacionais, apresentando valores mínimos de caudal-tipo para os compartimentos por duas vertentes: tipo de compartimento (serviço ou principal) – parte 1 - ou pelo número de ocupantes (quarto individual ou duplo) – parte 2. Após a aplicação das condições mínimas de caudais nas simulações, concluiu-se que a parte 1 apresenta valores RPH superiores à parte 2 para o mesmo tipo de abertura de admissão de ar.

Os conjuntos de simulações 12-13 e 14-15 demonstram que as aberturas autorreguláveis apresentam melhores resultados que as aberturas não reguláveis. Ambas são colocadas na parede do quarto de dormir, permitindo assim um sistema de ventilação conjunta, sendo que o ar novo entra pela abertura e é eliminado pela conduta presente na instalação sanitária associada à divisão.

O sentido do fluxo pré-definido nem sempre acontece no sentido positivo, existindo assim o fenómeno de inversão de tiragem, o que não permite eliminar o ar viciado presente no compartimento. A partir dos resultados das simulações, observa-se que este não varia entre simulações, assumindo-se assim que o tipo de abertura de admissão de ar não influencia o fenómeno. Conclui-se que a inversão de tiragem é causada maioritariamente pelo gradiente térmico entre o exterior e o interior, acontecendo mais frequentemente quando se verificam maiores temperaturas exteriores.

Assumiu-se que as RPH superiores às apresentadas na norma poderão causar desconforto nos utentes do lar. Assim, demonstrou-se que com o aumento das aberturas de admissão e exaustão de ar, as taxas de ventilação ficam mais próximas do valor de projeto, mas também significa que existe maior percentagem de excesso de ventilação nos quartos-típicos. Concluindo assim que o aumento das áreas de passagem de ar poderá ser uma situação viável para melhorar o sistema de ventilação, mas causará desconforto nos ocupantes, complicando assim a sua implementação.

Por fim, conclui-se que efetuando alterações no edifício existente como a criação de aberturas autorreguláveis e condutas de exaustão de ar tendo por base os caudais apresentados na Norma NP 1037 (2015) – parte 1, melhora consideravelmente as taxas de ventilação do lar de idosos. Porém, apesar destas modificações, a ventilação natural por si só não chegaria para atingir as RPH mínimas para manter a qualidade do ar presente nestas zonas, sendo necessário encontrar uma solução que englobasse o auxílio de equipamentos mecânicos (ventilação mista).





## Referências Bibliográficas

- [1] H. Awbi, *Ventilation of buildings*. 2003.
- [2] “Regulamento de desempenho energético dos edifícios de habitação (REH),” p. 127, 2013.
- [3] PORDATA, “População,” 2014. [Online]. Available: <http://www.pordata.pt/Tema/Portugal/Popula%C3%A7%C3%A3o-1>.
- [4] Serviço Nacional de Saúde, “Projecto GERIA,” 2010. [Online]. Available: <http://www.insa.pt/sites/INSA/Portugues/ID/Paginas/ProjetoGERIA.aspx>.
- [5] C. Sobreira, “Avaliação do desempenho da ventilação natural em lares de idosos,” Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 2015.
- [6] F. Cerqueira, “Avaliação das condições de ventilação de lares de idosos,” Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 2015.
- [7] G. N. Walton and W. S. Dols, “CONTAM User Guide and Program Documentation,” no. January 2005, p. NISTIR 7251, 2013.
- [8] Instituto Português da Qualidade, *NP 1037-1: Ventilação de edifícios com ou sem aparelhos a gás*. 2015.
- [9] M. A. Pinto da Silva, “Sistemas de Ventilação Natural e Mistos em Edifícios de Habitação,” Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008.
- [10] Y.-C. Huang, C.-L. Chu, S.-N. Chang Lee, S.-J. Lan, C.-H. Hsieh, and Y.-P. Hsieh, “Building users’ perceptions of importance of indoor environmental quality in long-term care facilities,” *Build. Environ.*, vol. 67, no. 0, pp. 224–230, 2013.
- [11] C. D. Ramos, C. M. Dias, and M. M. Cano, “Qualidade do Ar Interior em Edifícios de Escritórios e Serviços,” 2004.
- [12] J. Ginja, C. Borrego, M. Coutinho, C. Nunes, and M. Morais-Almeida, “Qualidade do ar interior nas habitações Portuguesas,” 2012.
- [13] L. C. Ng, A. K. Persily, and S. J. Emmerich, “Improving infiltration modeling in commercial building energy models,” *Energy Build.*, vol. 88, pp. 316–323, 2015.
- [14] D. O. E. E. A. R. ENERGY, “Input Output Refence: The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output,” pp. 1996–2015, 2015.
- [15] S. Almeida, “Contributo do Arrefecimento Passivo por Ventilação de Habitações pela Aplicação do Método PCLR,” Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 2015.
- [16] V. Clérigo, “Ventilação Mista em Edifícios de Habitação,” Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2015.
- [17] N. Temenos, D. Nikolopoulos, E. Petraki, and P. H. Yannakopoulos, “Modelling of Indoor Air Quality of Greek Apartments Using CONTAM ( W ) Software,” *Phys. Chem. Biophys.*, vol. 5, no. 6, 2015.
- [18] J. C. Viegas, S. Nogueira, D. Aelenei, H. Cruz, M. Cano, and N. Neuparth, “Numerical evaluation of ventilation performance in children day care centres,” *Build. Simul.*, vol. 8, no. 2, pp. 189–209, 2014.
- [19] F. Cerqueira, S. Azevedo, D. Aelenei, and J. Viegas, “Assessment of ventilation in elderly care centres,” pp. 1–12, 2014.
- [20] D. Aelenei, J. Viegas, M. Cano, S. Nogueira, A. Mendes, and F. Cerqueira, “Caracterização Experimental das Taxas de Renovação Horária em Residências para Pessoas Idosas: Resultados Preliminares do Projecto GERIA,” 2015.

- [21] F. Marques da Silva, “Ventilação Natural de Edifícios,” Instituto Superior Técnico, 2003.
- [22] LNEC, *Norma Portuguesa 1991-1-4 Acções em estruturas*. 2010, p. 162.
- [23] C. Ferreira, “Avaliação do funcionamento de uma fachada de dupla pele por processos de ventilação natural,” Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 2013.
- [24] Portugal, “Regulamento de segurança e acções para estruturas de edifícios e pontes,” *Regulamentos*. p. 96 p.–96 p., 1994.
- [25] Tokyo Polytechnic University, “TPU Aerodynamic Database.” [Online]. Available: <http://wind.arch.t-kougei.ac.jp/system/eng/contents/code/tpu>.
- [26] Instituto Português da Qualidade, “NP 1037-2: Ventilação de edifícios com ou sem aparelhos a gás.” 2009.
- [27] H. Rocha, “Rugosidade superficial interna de tubos para irrigação,” 2014.
- [28] M. Pinto, V. Freitas, and J. Viegas, “Qualidade do Ambiente Interior em Edifícios,” *Eng. e Vida*, pp. 34–43, 2007.

## Anexos

### Anexo 1: Renovações por hora obtidas experimentalmente e pelas simulações: método de emissão constante e método do decaimento

Ensaio	Local	RPH experimental	Simulação 1	Simulação 2	Simulação 3
<b>Método de emissão constante</b>	Quarto 2	0.6	0,16	-	-
	Quarto 8	0.44	0,17	-	-
	Quarto 5	0.56	0,24	-	-
	Quarto 21	0,42	0,25	-	-
	Quarto 2*	0.56	0,06	0.36	0,89
	Quarto 8*	0.69	0,05	0.42	0,69
	Quarto 5*	0.83	0,06	0.47	1,03
<b>Método do decaimento</b>	Quarto 3 (ensaio 1 – 1ª parte)	0,1964	0,2821	-	-
	Quarto 3 (ensaio 1 – 2ª parte)	0,089	0,1892	-	-
	Quarto 3 (ensaio 1 – média)	0,163	0,2511	-	-
	Quarto 3 (ensaio 2 – 1ª parte)	0,1759	0,2731	-	-
	Quarto 3 (ensaio 2 – 2ª parte)	0,079	0,1888	-	-
	Quarto 3 (ensaio 2 – média)	0,1673	0,2618	-	-

\*Ensaio realizado nos meses de primavera/verão

## Anexo 2: Renovações por hora obtidas experimentalmente e pelas simulações: método do PFT

Ensaio	Local	RPH experimental	Simulação 1	Simulação 2	Simulação 3
<b>PFT</b>	Quarto 2	0.17	0.08	-	-
	Quarto 3	0.18	0.13	-	-
	Quarto 4	0.17	0.12	-	-
	Quarto 5	0.13	0.11	-	-
	Quarto 6	0.20	0.11	-	-
	Quarto 7	0.17	0.11	-	-
	Quarto 8	0.15	0.12	-	-
	Quarto 9	0.19	0.12	-	-
	Quarto 10	0.18	0.12	-	-
	Quarto 12	0.15	0.10	-	-
	Quarto 13	0.20	0.10	-	-
	Quarto 14	0.14	0.10	-	-
	Quarto 15	0.20	0.10	-	-
	Quarto 16	0.16	0.10	-	-
	Quarto 17	0.20	0.10	-	-
	Quarto 18	0.12	0.10	-	-
	Quarto 20	0.17	0.13	-	-
	Quarto 21	0.13	0.11	-	-
	Quarto 22	0.20	0.11	-	-
	Quarto 23	0.19	0.11	-	-

### Anexo 3: Resumo das simulações realizadas

<b>Simulação 1.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• As portas interiores dos quartos fechadas</li> <li>• As janelas dos quartos fechadas</li> <li>• Desprezando-se os equipamentos mecânicos</li> </ul>
<b>Simulação 2.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• As portas interiores dos quartos fechadas</li> <li>• As janelas dos quartos abertas, mas com as persianas semifechadas</li> <li>• Desprezando-se os equipamentos mecânicos</li> </ul>
<b>Simulação 3.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• As portas interiores dos quartos fechadas, com exceção dos quartos 2,5 e 8 onde as portas estavam apenas encostadas</li> <li>• As janelas dos quartos abertas, mas com as persianas semifechadas</li> <li>• Desprezando-se os equipamentos mecânicos</li> </ul>
<b>Simulação 4.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Equipamentos mecânicos em funcionamento nos respetivos horários</li> <li>• Porta principal (<i>hall</i> de entrada) fechada</li> <li>• Porta que faz a ligação do <i>hall</i> de entrada para os quartos aberta</li> <li>• Janelas da lavandaria e cozinha totalmente fechadas</li> </ul>
<b>Simulação 5.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Equipamentos mecânicos em funcionamento nos respetivos horários</li> <li>• Porta principal (<i>hall</i> de entrada) fechada</li> <li>• Porta que faz a ligação do <i>hall</i> de entrada para os quartos aberta</li> <li>• 2 Janelas da lavandaria abertas</li> <li>• Janela da cozinha aberta</li> </ul>
<b>Simulação 6.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Equipamentos mecânicos em funcionamento nos respetivos horários</li> <li>• Porta principal (<i>hall</i> de entrada) fechada</li> <li>• Porta que faz a ligação do <i>hall</i> de entrada para os quartos aberta</li> <li>• Todas as janelas da lavandaria abertas</li> <li>• Janela da cozinha aberta</li> </ul>
<b>Simulação 7.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Equipamentos mecânicos em funcionamento nos respetivos horários</li> <li>• Porta principal (<i>hall</i> de entrada) fechada</li> <li>• Porta que faz a ligação do <i>hall</i> de entrada para os quartos fechada</li> <li>• Todas as janelas da lavandaria abertas</li> <li>• Janela da cozinha aberta</li> </ul>

<b>Simulação 8.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Equipamentos mecânicos em funcionamento nos respetivos horários</li> <li>• Porta principal (<i>hall</i> de entrada) aberta</li> <li>• Porta que faz a ligação do <i>hall</i> de entrada para os quartos fechada</li> <li>• Todas as janelas da lavandaria abertas</li> <li>• Janela da cozinha aberta</li> </ul>
<b>Simulação 9.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Equipamentos mecânicos em funcionamento nos respetivos horários</li> <li>• Porta principal (<i>hall</i> de entrada) aberta</li> <li>• Porta que faz a ligação do <i>hall</i> de entrada para os quartos aberta</li> <li>• Todas as janelas da lavandaria abertas</li> <li>• Janela da cozinha aberta</li> </ul>
<b>Simulação 10.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Porta principal (<i>hall</i> de entrada) aberta</li> <li>• Porta que faz a ligação do <i>hall</i> de entrada para os quartos aberta</li> <li>• As janelas da lavandaria e da cozinha fechadas</li> </ul>
<b>Simulação 11.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Simulação Anual</li> <li>• Portas interiores dos quartos fechadas</li> <li>• Janelas dos quartos fechadas</li> <li>• Desprezaram-se os equipamentos mecânicos</li> <li>• Porta principal (<i>hall</i> de entrada) fechada</li> <li>• Porta que faz a ligação do <i>hall</i> de entrada para os quartos aberta</li> <li>• Janelas da lavandaria e cozinha totalmente fechadas</li> </ul>
<b>Simulação 12.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Condições-base da simulação 10</li> <li>• Características das portas interiores segunda a norma 1037 (2015)</li> <li>• Aberturas de admissão de ar não reguláveis nos quartos de dormir, com as dimensões normalizadas na norma 1037 – parte 1 (2015)</li> </ul>
<b>Simulação 13.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Condições-base da simulação 10</li> <li>• Características das portas interiores segunda a norma 1037 (2015)</li> <li>• Aberturas de admissão de ar auto - reguláveis nos quartos de dormir, com as dimensões normalizadas na norma 1037 – parte 1 (2015)</li> </ul>
<b>Simulação 14.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Condições-base da simulação 10</li> <li>• Características das portas interiores segunda a norma 1037 (2015)</li> <li>• Aberturas de admissão de ar não reguláveis nos quartos de dormir, com as dimensões normalizadas na norma 1037 – parte 2 (2015)</li> <li>•</li> </ul>

<b>Simulação 15.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Condições-base da simulação 10</li> <li>• Características das portas interiores segunda a norma 1037 (2015)</li> <li>• Aberturas de admissão de ar auto - reguláveis nos quartos de dormir, com as dimensões normalizadas na norma 1037 – parte 2 (2015)</li> </ul>
<b>Simulação 16.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Condições-base da simulação 10</li> <li>• Aberturas de admissão de ar auto - reguláveis nos quartos de dormir</li> <li>• Caudal-tipo: 1.5 RPH compartimentos principais ou 5 RPH compartimentos de serviço</li> </ul>
<b>Simulação 17.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Condições-base da simulação 10</li> <li>• Aberturas de admissão de ar auto - reguláveis nos quartos de dormir</li> <li>• Caudal-tipo: 2 RPH compartimentos principais ou 6 RPH compartimentos de serviço</li> </ul>

**Anexo 4: Resultados dos Quarto-Típicos***Tabela 19: Valores de RPH dos quartos-típicos para o caso base*

Grupo	Quarto Típico	Mês												Anual
		Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	
<b>A</b>	Quarto 5	0,13	0,15	0,12	0,10	0,13	0,10	0,10	0,10	0,08	0,11	0,11	0,15	0,12
<b>B</b>	Quarto 10	0,12	0,15	0,11	0,09	0,11	0,08	0,08	0,08	0,07	0,08	0,10	0,12	0,10
<b>C</b>	Quarto 14	0,11	0,14	0,09	0,08	0,08	0,07	0,06	0,04	0,06	0,08	0,09	0,09	0,08
<b>D</b>	Quarto 17	0,11	0,14	0,10	0,09	0,10	0,09	0,09	0,08	0,07	0,08	0,09	0,11	0,09
<b>E</b>	Quarto 21	0,12	0,14	0,11	0,09	0,11	0,09	0,08	0,07	0,08	0,10	0,10	0,14	0,10
<b>QA</b>	Quarto de Apoio	0,15	0,19	0,15	0,12	0,13	0,12	0,12	0,11	0,10	0,12	0,12	0,15	0,13

*Tabela 20: Valores de RPH dos quartos-típicos para a simulação 12.*

Grupo	Quarto Típico	Mês												Anual
		Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	
<b>A</b>	Quarto 5	0,76	0,76	0,77	0,61	0,72	0,48	0,50	0,51	0,32	0,53	0,67	1,02	0,64
<b>B</b>	Quarto 10	0,73	0,85	0,63	0,54	0,44	0,46	0,35	0,32	0,40	0,44	0,58	0,71	0,54
<b>C</b>	Quarto 14	0,56	0,57	0,57	0,44	0,43	0,33	0,31	0,29	0,25	0,37	0,49	0,73	0,44
<b>D</b>	Quarto 17	0,73	0,77	0,67	0,55	0,58	0,43	0,48	0,45	0,25	0,34	0,57	0,72	0,54
<b>E</b>	Quarto 21	0,59	1,01	0,65	0,59	0,49	0,53	0,39	0,32	0,44	0,49	0,64	0,68	0,57
<b>QA</b>	Quarto de Apoio	0,71	0,76	0,65	0,53	0,57	0,42	0,46	0,43	0,24	0,33	0,55	0,70	0,53



Tabela 21: Valores de RPH dos quartos-típicos para a simulação 13.

Grupo	Quarto Típico	Mês												Anual
		Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	
<b>A</b>	Quarto 5	1,12	1,13	1,11	0,90	1,03	0,69	0,72	0,74	0,44	0,75	0,97	1,37	0,91
<b>B</b>	Quarto 10	1,07	1,16	0,94	0,79	0,62	0,67	0,50	0,46	0,55	0,63	0,85	1,05	0,77
<b>C</b>	Quarto 14	0,84	0,85	0,84	0,65	0,62	0,48	0,44	0,41	0,35	0,53	0,71	1,04	0,65
<b>D</b>	Quarto 17	1,06	1,11	0,96	0,81	0,87	0,64	0,71	0,67	0,35	0,47	0,84	1,08	0,80
<b>E</b>	Quarto 21	0,82	1,31	0,96	0,85	0,69	0,76	0,56	0,45	0,60	0,67	0,91	1,02	0,80
<b>QA</b>	Quarto de Apoio	0,99	1,04	0,90	0,76	0,81	0,60	0,67	0,63	0,33	0,44	0,79	1,00	0,74

Tabela 22: Valores de RPH dos quartos-típicos para a simulação 14.

Grupo	Quarto Típico	Mês												Anual
		Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	
<b>A</b>	Quarto 5	0,41	0,41	0,42	0,33	0,40	0,27	0,28	0,28	0,17	0,29	0,36	0,56	0,35
<b>B</b>	Quarto 10	0,40	0,46	0,34	0,29	0,24	0,26	0,19	0,18	0,22	0,24	0,32	0,38	0,29
<b>C</b>	Quarto 14	0,30	0,31	0,31	0,24	0,23	0,18	0,17	0,16	0,14	0,20	0,26	0,40	0,24
<b>D</b>	Quarto 17	0,39	0,42	0,36	0,30	0,32	0,24	0,26	0,25	0,14	0,18	0,31	0,39	0,30
<b>E</b>	Quarto 21	0,32	0,55	0,36	0,32	0,27	0,29	0,22	0,18	0,24	0,27	0,35	0,37	0,31
<b>QA</b>	Quarto de Apoio	0,30	0,32	0,27	0,22	0,23	0,17	0,18	0,17	0,09	0,13	0,23	0,30	0,22

Tabela 23: Valores de RPH dos quartos-típicos para a simulação 15.

Grupo	Quarto Típico	Mês												Anual
		Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	
<b>A</b>	Quarto 5	0,51	0,51	0,52	0,41	0,50	0,32	0,34	0,35	0,20	0,36	0,45	0,69	0,43
<b>B</b>	Quarto 10	0,49	0,55	0,42	0,35	0,28	0,31	0,23	0,21	0,26	0,29	0,38	0,47	0,35
<b>C</b>	Quarto 14	0,37	0,38	0,38	0,29	0,28	0,22	0,20	0,18	0,16	0,24	0,32	0,49	0,29
<b>D</b>	Quarto 17	0,49	0,52	0,45	0,36	0,40	0,29	0,33	0,31	0,16	0,22	0,38	0,48	0,37
<b>E</b>	Quarto 21	0,39	0,65	0,43	0,39	0,32	0,36	0,26	0,21	0,30	0,32	0,42	0,45	0,37
<b>QA</b>	Quarto de Apoio	0,56	0,59	0,51	0,42	0,46	0,33	0,38	0,35	0,19	0,25	0,43	0,55	0,42

## Anexo 5: Curvas características dos quartos-típicos das taxas de ventilação por percentagem de tempo de ocorrência

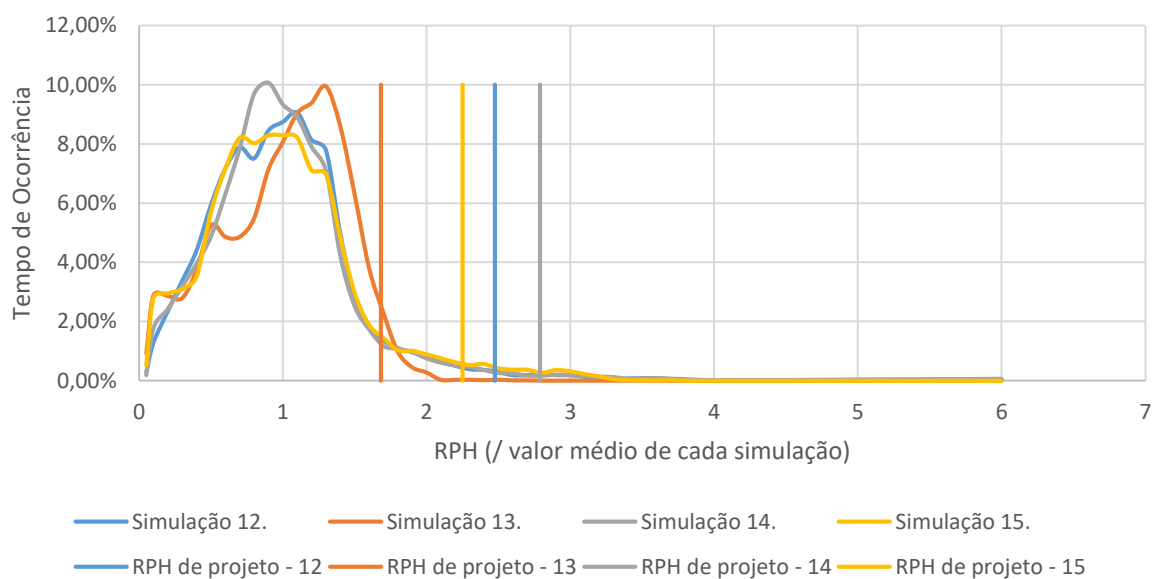


Figura 36: Curva característica do comportamento da taxa de ventilação por percentagem de tempo de ocorrência para o quarto 10

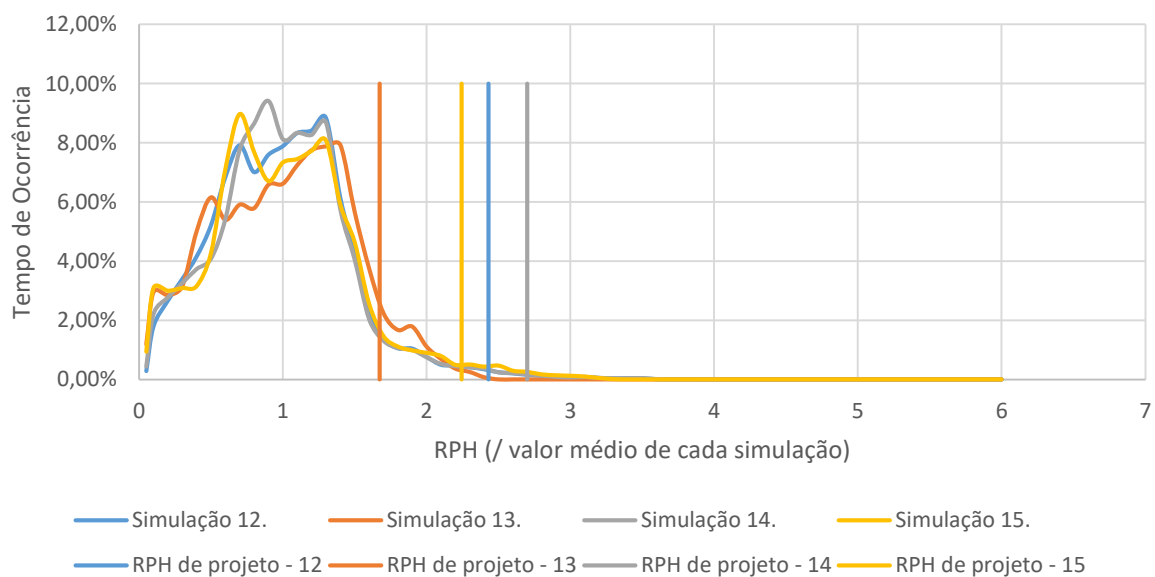


Figura 37: Curva característica do comportamento da taxa de ventilação por percentagem de tempo de ocorrência para o quarto 14

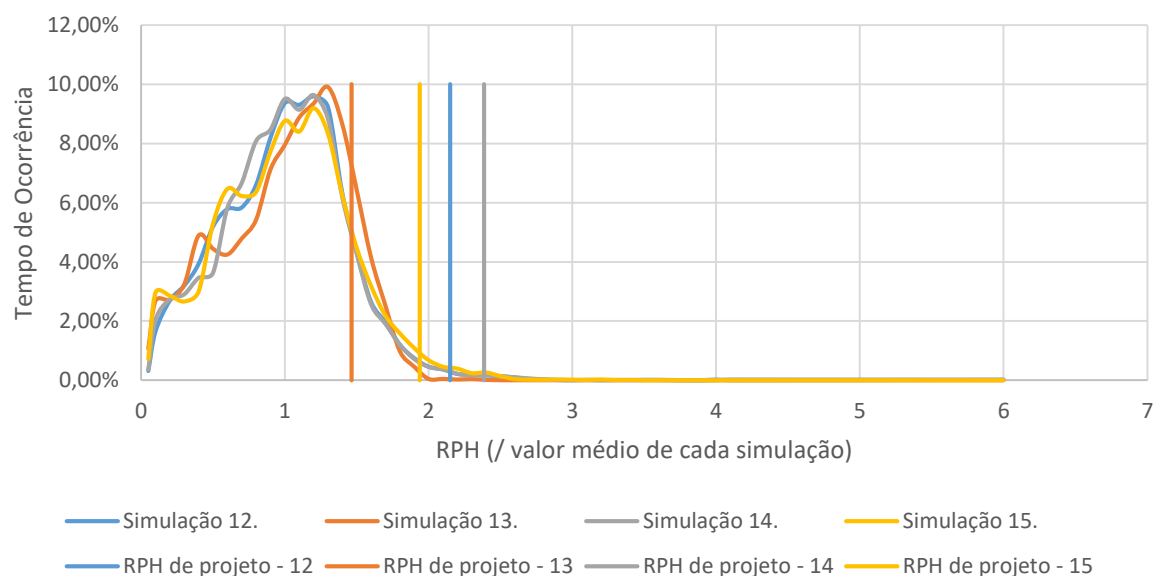


Figura 38: Curva característica do comportamento da taxa de ventilação por percentagem de tempo de ocorrência para o quarto 17

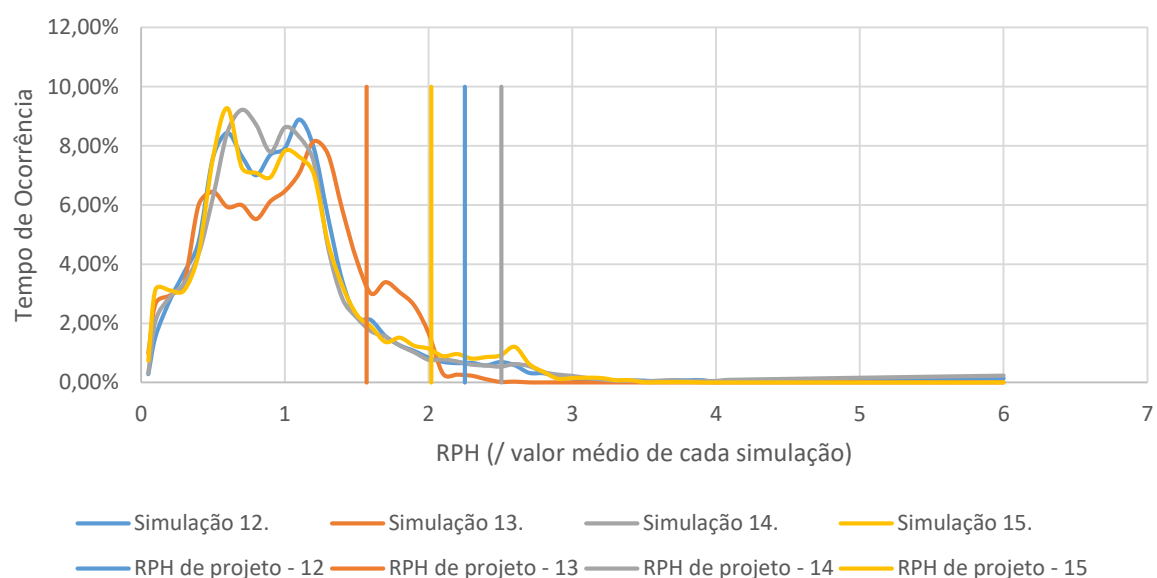


Figura 39: Curva característica do comportamento da taxa de ventilação por percentagem de tempo de ocorrência para o quarto 21

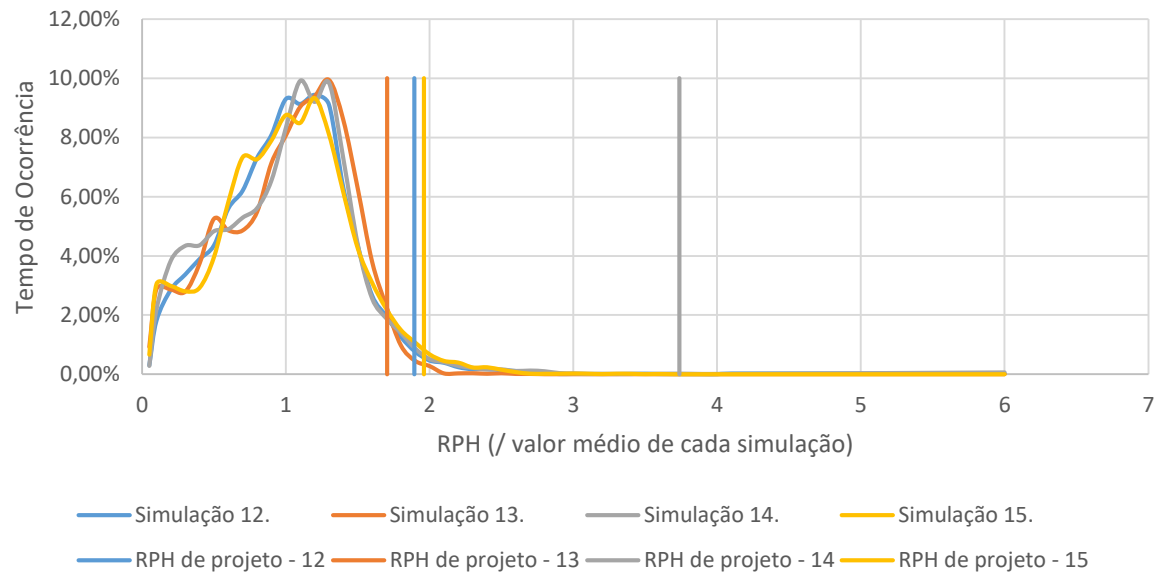


Figura 40: Curva característica do comportamento da taxa de ventilação por percentagem de tempo de ocorrência para o quarto de apoio